JAHRGANG 69. 1919. HEFT 7 BIS 9.

Entstehung und Entwicklung der osmanischen Baukunst.

Von Prof. Dr.=Ing. Hölscher in Hannover.

1. Entstehung und Wesen der türkischen Kunst.

Das riesige Reich, das die Araber nach Mohameds Tode (632) in raschen Eroberungszügen zusammengebracht hatten, sollte sich nicht lange auf der erreichten Höhe halten. Bereits nach dem Sturze der Omaijadendynastie (750) begann der Zerfall. Schwächliche Kalifen, urwüchsige Leibgarden, aufsässige Generale — so ging es mit dem Reiche bergab. In den abgebröckelten Provinzen erhoben sich neue Dynastien, ohne ihren jungen Thron auf die Dauer festigen zu können. In diese alternde Welt drangen nun um 1000 n. Chr. nomadische Turkstämme aus Innerasien ein, die sich nach ihrem Führer Seldschuken nannten. Mit dem Säbel in der Faust sich Platz schaffend, konnte schon 1055 Tughril Beg in die Kalifenstadt als Sultan einziehen. Aber auch dieses Reich zerfiel bald wieder in einzelne Sultanate in Kurdistan, Kirman, Iraq, Syrien und Anatolien. Das letztere, das Sultanat von Rum, gelangte, nachdem es sich im Kampfe mit byzantinischen Heeren und Kreuzfahrerscharen behauptet hatte, zu einer späten, aber glänzenden Blüte (13. Jahrhundert). Die Residenzstadt Konia, wo sich die Einflüsse von Baghdad und Konstantinopel begegneten, erblühte zu einer Stätte hoher islamischer Bildung und Kunst, die den am Anfang der türkischen Kunstgeschichte stehenden Namen der Seldschuken zu einem Ehrennamen gemacht haben.

Unterdessen hatte sich im Inneren Asiens ein neuer Sturm zusammengezogen. Mongolenhorden in der jetzigen Wüste Gobi hatten sich von ihrem chinesischen Oberherrn losgesagt. Alles vor sich niederwerfend, türmten sie sich unter ihrem Führer Djingis Chan aus den Trümmern der zerschmetterten Reiche eine Herrschaft vom Gelben bis zum Schwarzen Meere auf. Obgleich nach dem Tode des großen Djingis (1227) das Reich in einzelne Teile zerfiel, kam die Bewegung damit doch noch nicht zum Stillstand. Einer seiner Enkel, Hulagu, eroberte 1258 Baghdad und drang östlich bis Indien, westlich bis Syrien und an das Mittelmeer vor. Unmittelbar vor den Grenzen des Seldschukensultanats von Konia ebbte die gefährliche Sturmflut ab.

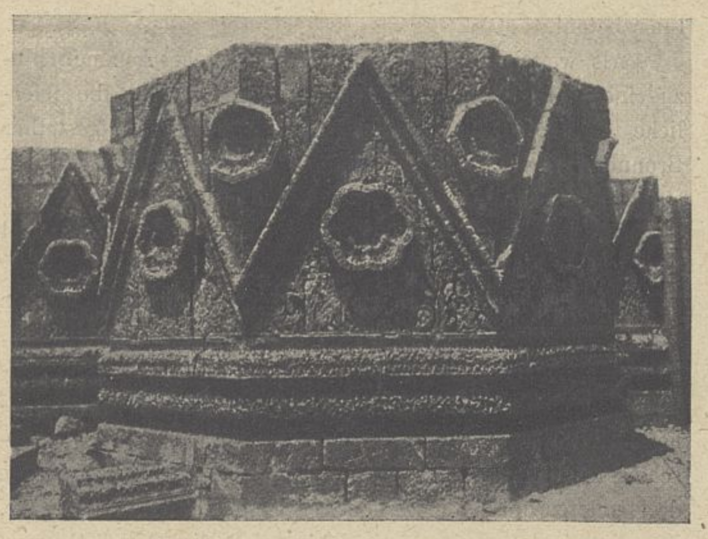


Abb. 1. Mschatta. Linker Torturm
(nach Diez, Die Kunst der islamischen Völker, im Handbuch der Kunstwissenschaft).

Gedrängt von dieser großen Völkerbewegung waren neue Turkstämme in Kleinasien eingewandert und hatten anfänglich den Seldschuken Heeresfolge geleistet. Als Dank dafür waren ihnen Ländereien in Bithynien angewiesen worden. Schritt für Schritt drängten sie von hier aus unter ihrem Führer Osman (1299—1326), nach dem der Stamm sich fortan nannte, die alteingesessenen Byzantiner zurück. Sein Sohn Orchan nahm Brussa (1326), das die neue Sultansstadt wurde, und überschritt bereits 1354 die Dardanellen. Damit begann der Eroberungszug der Osmanen nach Europa hinein. 1361 fiel Adrianopel, das der nach Westen blickende Türkensultan Murad I. (1359—89) zur europäischen Hauptstadt erkor. 1363 folgte Philippopel, 1389 das Reich der Serben und 1393 das der Bulgaren.

Inzwischen war die Mongolenherrschaft in Asien neu erstarkt. Gleich einer Windsbraut zog der ungestüme Eroberer Timur Lenk (Tamerlan) heran, alles vor sich niederwerfend. 1402 brach auch das Türkenreich in der Schlacht bei Angora zusammen. Der geschlagene Sultan Bajazid I. Jilderim ward in die Gefangenschaft abgeführt. Ein für die Osmanen gütiges Geschick wollte aber, daß der Sturm, so schnell wie er gekommen, auch wieder verzog. Mit dem Tode Timurs (1405) zerfiel die Mongolenherrschaft. Das Osmanenreich konnte unter Mohamed I. (1413—21) und Murad II. (1421—51) sich neu festigen, so daß es unter Mohamed II. (1451—81) seine Eroberungszüge wieder aufzunehmen imstande war. 1453 fiel nach verzweifeltem Kampfe das letzte Bollwerk des byzantinischen Reiches die Stadt Konstantinopel. Die Stadt, die einzig und allein das antike Kulturerbe durch die Kämpfe des Mittelalters gerettet hatte, ward damit eine Beute der Osmanen.

Soweit haben wir uns die geschichtliche Entwicklung Vorderasiens in die Erinnerung zurückrufen müssen, um zu verstehen, welch verschiedene Rassen und Kulturen hier übereinander geschichtet waren: Einerseits die syrisch-hellenistische Welt vom Mittelmeer ausgehend, anderseits die alten bodenständigen Kulturen im Zweistromlande, in Persien und Armenien, beide schon durch die Sassanidenherrschaft in gegenseitigen Austausch gebracht, von neuem aber durch die arabische Eroberung und den einigenden islamischen Glauben zusammengeschweißt. Ja sogar das alte Kulturland Indien mußte zum größeren Glanze des Kalifensitzes Baghdad beitragen.

In dieses Gewirr verschiedenartiger Kulturstimmen brachten nun die immer stärker in die Geschicke der Völker ein-

greifenden jugendfrischen Turkstämme eine neue Tonart. Als unzivilisierte Nomaden hatten sie ihrer wandernden Lebensweise entsprechend natürlich nicht die großen Zweige der Kunst, Architektur und die ihr dienenden Schwesterkünste gepflegt, sondern nur die angewandten kunstgewerblichen Techniken, Holzschnitzerei, Metallarbeit und vor allem die Web- und Knüpfkunst, die ja in jenen asiatischen Steppenländern zu hoher Entwicklung gekommen war. Der Kunstsinn der Turkvölker ist also nicht so sehr auf Raumbildungen und tektonische Formen als vielmehr auf Flächenornamentik eingestellt. Der reiche Schatz ihrer althergebrachten Volkskunst fand im islamischen Kulturkreis seinen „Aufstieg von der angewandten Kunst zur Baukunst; er wurde — wenigstens zum Teil — Bauform" (Diez). Darin liegt die große Bedeutung, die die Turkvölker für die Kunst des Islam haben.

Über alle diese verschiedenen Völker und Rassen der islamischen Welt lagerte sich nun die Herrschaft der Mongolen. Selber waren diese wohl die unzivilisierteste aller der genannten Völkerschaften. Durch ihre Herkunft aus chinesischer Oberhoheit und ihre ganz Asien überspannenden Weltreiche lenkten sie aber den Blick Vorderasiens gewaltsam nach Osten auf die alten nationalen Kulturen Indiens und Chinas. Die Mongolen haben die geschichtliche Mission erfüllt, den kulturellen Austausch zwischen Ost- und Westasien, der zweifellos früher schon bestand, wesentlich gefördert zu haben. Wie weit die Einflüsse Indiens und Chinas auf die islamische Kunst im einzelnen gehen, bedarf noch eingehender Studien. Aber wenn man z. B. heutzutage noch in der Türkei die vielverwendeten bunten Glasursteine und Fliesen als „tschini" (= China) bezeichnet[1]), so zeigt das, daß man sich der Herkunft dieser in der persischen wie in der türkischen Baukunst so erfolgreich verwendeten Dekorationsweise wohl bewußt war.

So war in Vorderasien eine islamische Kunst entstanden, die „nicht eigentlich national war, sondern ein Produkt der großen Völkerwanderungen und des transasiatischen und indoarabischen Weltverkehrs" (Diez). Die beiden grundlegenden Elemente waren dabei einerseits die nationale Baukunst Persiens, als des in kultureller Beziehung führenden Landes, und anderseits die Dekorationsweise der innerasiatischen Völkerschaften. Die außerordentliche Mischung der Stile wurde durch die geringe nationale Festigkeit der einzelnen Völker ermöglicht, wobei die Stilverschmelzung begünstigt wurde durch die im ganzen Orient verbreitete Sitte der Eroberer, aus allen von ihnen beherrschten Gebieten Baukünstler und Handwerker zu einer Bauausführung zusammen zu ziehen: Byzantiner und Syrer, Armenier und Perser, Ägypter und Inder.

Dieser vorderasiatisch-islamischen Kunst stand nun schroff gegenüber die byzantinisch-christliche Kunst als Erbin der hellenistisch-antiken Auffassung.

Mit dem Fall Konstantinopels war das Osmanische Reich ein Weltreich geworden. Der Anfang des 16. Jahrhunderts sieht es auf der Höhe seiner Macht: Von Spanien bzw. Ungarn bis Mesopotamien, von der Krim bis Ägypten und Arabien gehorchte man dem Sultan und Kalifen in Konstantinopel. Anderseits wurde das Türkentum selber stark von dem wesensfremden byzantinisch-griechischen Geiste durchdrungen, den es wohl zu unterjochen, nicht aber zu verdrängen vermocht hatte. Nicht nur in zahlreichen Einzelheiten zeigt sich das — wir nennen nur zum Beispiel die Annahme des byzantinischen Hofzeremoniells durch die Sultane oder die Übernahme der byzantinischen Kopfbedeckung, des sogenannten Fez, als türkische Nationaltracht —, sondern vor allem, worauf es hier ankommt, in der Kunst offenbart sich der Einfluß des griechischen Geistes. Im Kampf zweier wesensfremden Kunstanschauungen, der asiatisch-islamischen und der byzantinisch-christlichen, sind die Großschöpfungen der türkischen Baukunst entstanden, die wir in Konstantinopel und Adrianopel bewundern. Dabei ist für den türkischen Volkscharakter bezeichnend, daß nicht so sehr die islamische Dekorationsweise als die hauptsächlich von Persien überkommene Raumbildung von der byzantinischen verdrängt wurde. Der Kampf dieser zwei Kulturen und gegensätzlichen Kunstauffassungen, zuerst das Vordringen der asiatisch-islamischen, dann das Eindringen der byzantinisch-christlichen und die Verschmelzung beider Kulturen und endlich ein gewisser Zersetzungsprozeß — das ist die Geschichte der osmanischen Kunst.

Die Baukunst sämtlicher islamischer Völker fand ihre wichtigste Betätigung auf religiösem Gebiet, in der Errichtung sakraler Bauten. Die Moschee ist niemals als das „Haus Gottes" aufgefaßt worden, sondern immer nur als der Ort, wo sich die Gläubigen zum gemeinsamen Gebet versammeln. Es gibt im Islam — ganz im Gegensatz zur christlichen Kirche — keine Scheidung in Klerus und Laien. Alle Gläubigen sind vor Allah gleich. Sie stehen daher beim Gebet in breiter Front nebeneinander, oder bei stark besuchten Gottesdiensten in mehreren oder vielen Reihen hintereinander, mit dem Gesicht nach Mekka gewandt. Das ist für die Anlage der Moscheen von entscheidender Bedeutung. Der Gebetsort kann ein freier Platz, ein von Hallen umgebener Hof oder ein gedeckter Raum sein; Erfordernis ist nur, daß die eine Abschlußwand quer zur Richtung nach den heiligen Stätten steht, damit sich vor ihr die Scharen der Gläubigen zum Gebet aufstellen und einrichten können, und daß darin eine kleine Nische (mihrab) die Gebetsrichtung betont.

Als weiteres Erfordernis für eine Moschee kommen hinzu eine rechts vom mihrab stehende Kanzel für die feierliche Freitagspredigt, ein vor der Gebetsstätte aufgestellter Brunnen, an dem die vorgeschriebenen, rituellen Waschungen stattfinden, und ein schlanker Turm (minare), von dessen Galerie der Rufer (muezzin) die Stunden des Gebets fünfmal am Tage verkündet.

Die ältesten arabischen Moscheen bestanden, wie es Mekka ja heutzutage noch zeigt, aus einem rechteckigen, hallenumgebenen Hof — ähnlich der hellenistischen von Säulenhallen eingefaßten agora. Von diesen vier Hallen zeichnet sich die nach Mekka zu gelegene (qibla) durch die geschlossene, mit dem mihrab versehene Abschlußwand, die drei anderen durch die in den Achsen gelegenen Portale aus. Die Entwicklung ging nun dahin, daß die Qiblahalle vertieft, mehrschiffig angelegt wurde. Sie wird, zumal wenn die anderen Hallen verkümmern, zu einem gesonderten Bau-

1) Man vergleiche das englische „china" = Porzellan.



Abb. 2. Omaijadenmoschee in Damaskus
(nach Aufnahme von M. Frhr. v. Oppenheim, nach Diez, a. a. O.).

werk (Omaijadenmoschee in Damaskus, Abb. 2). An die Stelle der primitiven Holzstützen treten Säulen, die meist von christlichen oder heidnischen Bauten entnommen sind, oder gemauerte Pfeiler. Bogenreihen tragen die flache Holzdecke.

Dieser frühislamischen, auf semitisch-hellenistischer Grundlage fußenden Hof- und Hallenmoschee hatten nun die Perser zwei andere nationale Raumbildungen gegenüber gestellt[2]): Erstens einen Kuppelraum, oftmals durch Nischen kreuzförmig erweitert, mit vorgelegter Eingangshalle. Diese Baugruppe bildete schon in Palästen der Sassanidenzeit (Sarvistan) den Mittelpunkt der ganzen Anlage. Für eine Volksmoschee eigneten sich solche Kuppelräume freilich nicht, denn infolge der Ausführungsschwierigkeiten blieben ihre Abmessungen in der Regel beschränkt. Die Perser haben sie daher bei ihren großen Moscheen regelmäßig durch Seitenschiffhallen erweitert. In die türkische Baukunst ging die Kuppelmoschee in ihrer einfachen Form anfänglich nur als Mausoleum (türbe) über (Abb. 3). Erst in der Glanzzeit, als den Türken die griechische Wölbkunst und die Mittel eines Weltreichs zur Verfügung standen, übertrug man die einfache Form der persischen Kuppelmoschee auch auf große Anlagen (s. u. Bajazidije in Adrianopel u. a.).

Die zweite der national-persischen Sakralformen hat sich aus der Medrese entwickelt. Als Medrese (Schule) bezeichnet man die Stätten, an denen von angesehenen Lehrern die orthodoxe Überlieferung (sunna) gelehrt wurde. In der Regel waren es Stiftungen seldschukischer oder osmanischer Sultane oder anderer Großen des Reiches, um dem schiitischen Irrglauben oder dem Sektenwesen entgegenzuarbeiten. Die Grundform der Medrese leitet sich, ebenso wie der Han und die Karawanserei, von dem persischen Innenhofhause her. Sie besteht aus einem hallenumgebenen Hof, um den sich die Wohnzellen der Schüler reihen (Abb. 8). In der Achse liegt ein nach dem Hofe zu offener Lehr- und Gebetsraum (l'iwan), der anfänglich meist tonnengewölbt war (Abb. 4), später auch wohl mit einer Kuppel gedeckt wurde. Bei großen Anlagen wiederholen sich die Iwane in der Querachse des Hofes. Neben der Medrese oder in sie einbezogen findet man sehr oft die kuppelgedeckte Türbe des Stifters und seiner Familie.

Abb. 3. Türbe des Halil Pascha in Skutari
(nach Gurlitt, Die Baukunst Konstantinopels).

Die beiden genannten persischen Bautypen, die Kuppelmoschee und die Medrese — gegebenenfalls mit Mausoleum — flossen nun in dem rauhen Berglande Anatolien zusammen zur sogenannten Kuppelmedrese, wo statt des offenen Hofes ein kuppelgedeckter, mit Brunnen ausgestatteter Innenraum den Mittelpunkt bildet, um den sich einerseits der tonnen- oder kuppelgedeckte Gebetsraum, gegebenenfalls auch die Seiteniwane, anderseits die Zellen der Schüler und gegebenenfalls die Türbe lagern (Abb. 9). In dieser Form wurde die Medresenanlage unter den Sultanen türkischen Stammes derartig beliebt, daß sie auch auf die Moscheen — nicht zwar auf die großen Volksmoscheen, wohl aber auf die kleineren

2) Vgl. die Ausführungen von Diez a. a. O., S. 90ff.

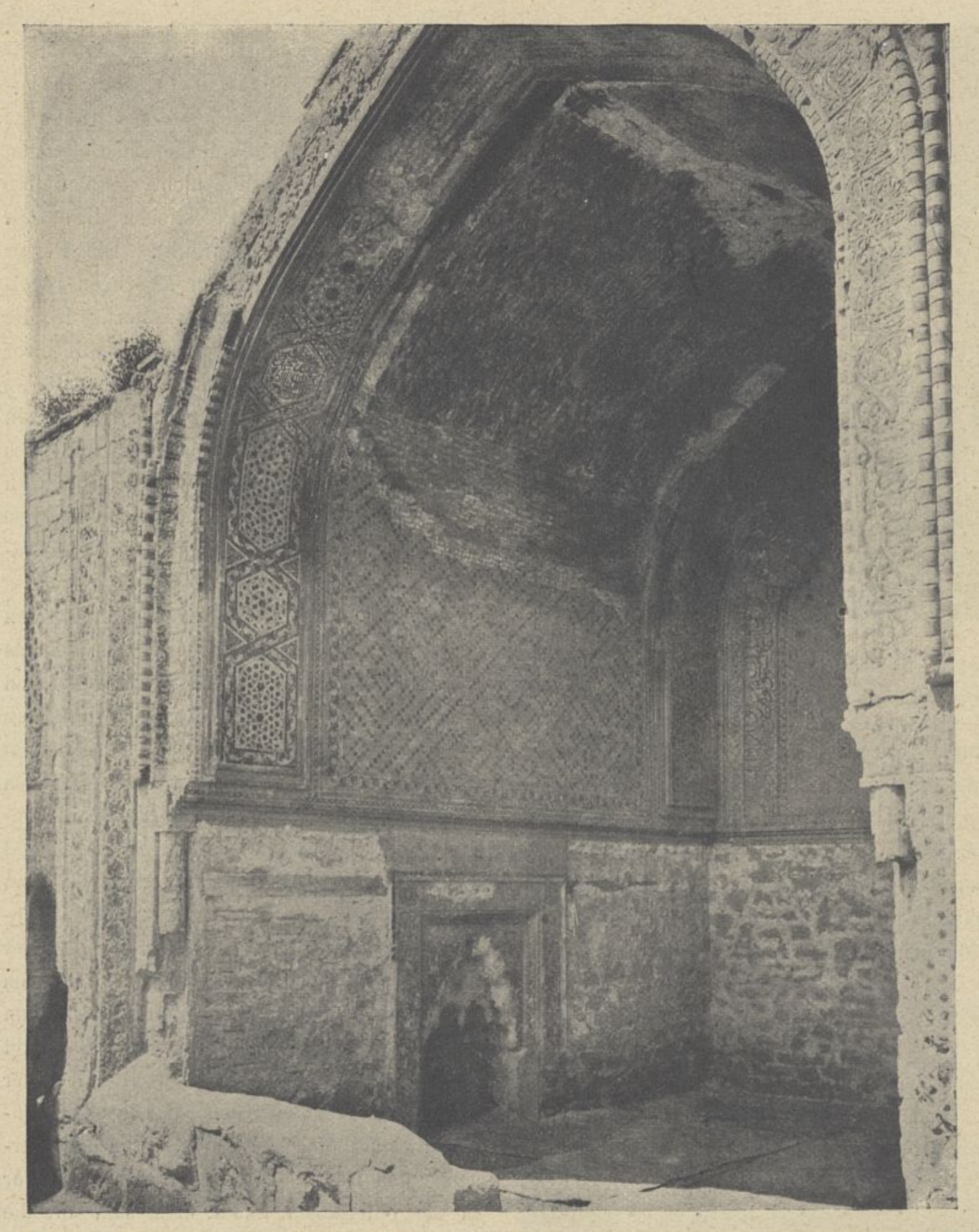


Abb. 4. Iwan der Sirtscheli Medrese in Konia.

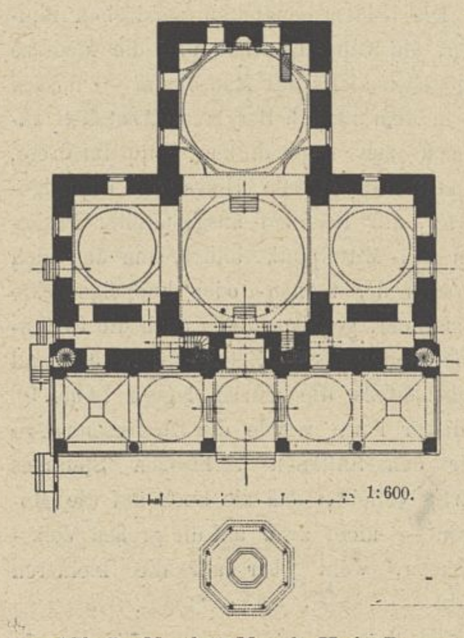


Abb. 5. Moschee Murads II. in Brussa (nach Wilde, Brussa, eine Entwicklungsgeschichte türkischer Architektur in Kleinasien unter den Osmanen).

Moscheen — übertragen wurde. Dann blieben natürlich die Zellen der Schüler und gegebenenfalls das Mausoleum fort, an deren Stelle nach Bedarf Nebenräume (Sakristeien, Geräteräume usw.) traten. Der Brunnen wurde später in der Regel auf einen freien Platz vor der Moschee verlegt. Die von der einfachen Kuppelmoschee übernommene offene Vorhalle diente der Volksmenge, die in das Innere der Moschee keinen Einlaß finden konnte, als Gebetsraum. Sie wurde daher in der Regel erhöht und mit kleineren Mihrabs ausgestattet. Auch wohl eine Außenkanzel findet man daran (Abb. 5).

In diesen Haupttypen hatte sich die türkische sakrale Baukunst entwickelt, bevor durch Eindringen des griechischen Geistes ein der islamischen Kunst fremder Zug hinein kam.

Kann man in der Bauanlage der islamischen Kunst den überwiegenden Einfluß persischer Architektur feststellen, so finden wir in der Schmuckweise ein um so mannigfaltigeres Bild, einen Reichtum der Formen, dem keine andere Kunst etwas Ähnliches an die Seite zu stellen hat. Wie bereits oben angedeutet wurde, lassen sich die Zierformen der islamischen Kunst auf drei grundverschiedene Elemente zurückführen, erstens auf die Formensprache der ausgehenden Sassanidenzeit (Mschatta Abb. 1), die auf der Vermengung semitisch-hellenistischer und persisch-armenischer Kunst beruhte; zweitens auf die der innerasiatischen Volkskunst entstammende Flächenornamentik der Turkstämme und drittens auf gewisse von Indien und China übertragene Formen und Techniken. Der sich daraus ergebende reiche Formenschatz wurde nun in der islamischen Kunst ohne Rücksicht auf seine Herkunft in allen denkbaren Techniken zur Anwendung gebracht, in Stein und in Holz, in Stuck und in Farbe.

Bezeichnend für den starken Einfluß der nicht architektonisch empfindenden, sondern rein auf das Ornamentale gerichteten Phantasie der zur Herrschaft gekommenen Turkstämme ist die allmähliche Abkehr von den eigentlich konstruktiven Bauformen und die Bevorzugung spielender, ornamentaler Linienführung und dekorativer Formen verschiedensten Ursprungs. So verwendet man mit Vorliebe statt des einfachen Bogens (Spitzbogens) den sogenannten Eselsrücken oder den Schiffskielbogen. Man zieht die Fußenden wieder zusammen zum sogenannten Hufeisenbogen. Man zeichnet malerisch ausgezackte, aus verschiedenen Bogenstücken und Geraden zusammengefaßte Linienführungen, die man kaum noch als Bogen bezeichnen kann. Statt der einfachen Halbkuppeln, Nischen oder Gewölbezwickel bevorzugt man Überkragungen aus einzelnen Steinen, deren Köpfe in mannigfacher Weise wie Kristalle geziert Zellengebilde ergeben, in den reichsten Beispielen sogar tropfsteinartig herabhängen (Stalaktiten). Man liebt fächerartig zusammengefaltete, kerbschnittartig gebildete oder sonstwie aus Dreieckflächen zusammengesetzte Raumformen, die

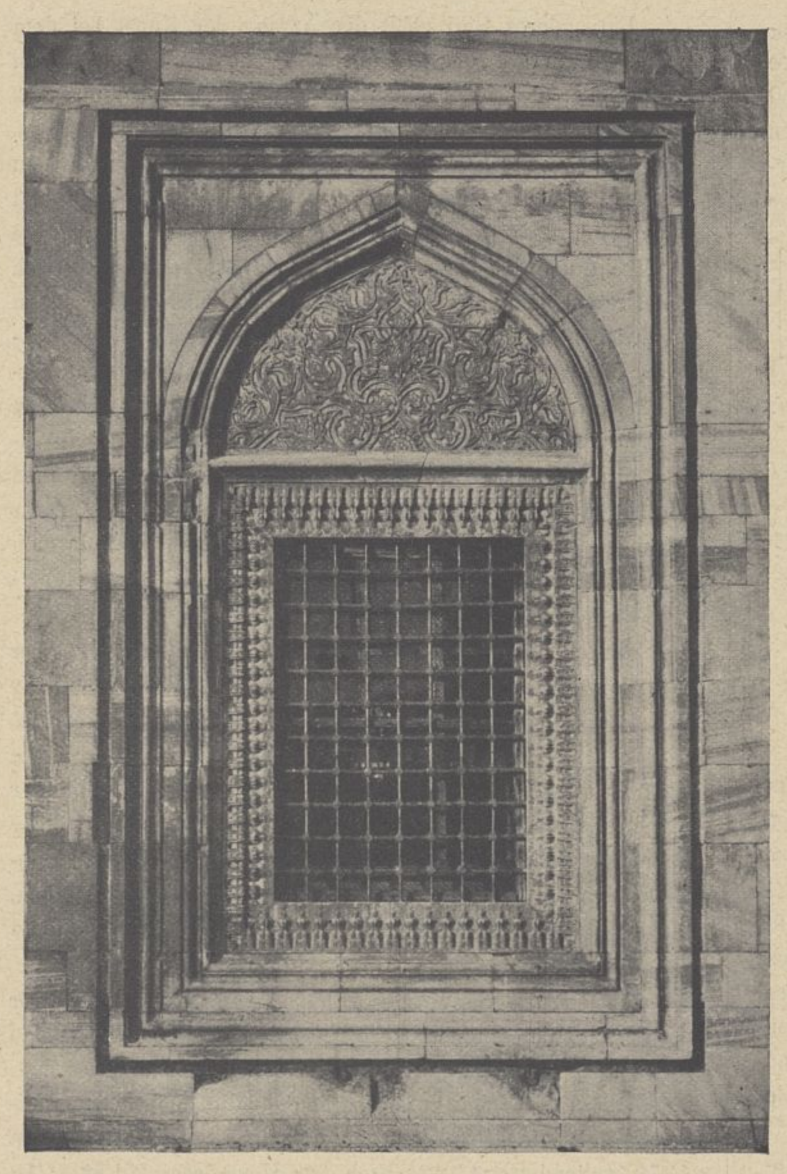


Abb. 6. Fensterumrahmung an der Jeschil Djami in Brussa.
(Aufnahme von Sebah u. Joaillier.)

meist in weißem Stuck auf Ziegeluntermauerung oder in hellem Marmor ausgeführt, in den reichen Beispielen (Konia) aber auch wohl mit Fayencen bekleidet sind, ihren Reiz in dem Spiel der Schatten und Reflexe haben. Mit solchen und ähnlichen Formen überzieht man diejenigen Stellen im Bau, wo eine Überleitung aus einer Grundform in die andere eine Lösung verlangt, z. B. die Überführung vom Geviert zum Achteck oder Rund der Kuppel (Abb. 37), die Abschlüsse der Portal- und Mihrabnischen, Vorkragungen verschiedener Art, die Kapitelle der Säulen u. dgl.

Ferner ist bezeichnend die Verwendung teppichartiger Flächenmusterungen, geometrischer Stern- und Bandmuster, die neben dem Rankenwerk und Blatt- und Blütenbildungen in ungeheurer Mannigfaltigkeit und mit bewundernswerter Erfindungsgabe gezeichnet sind (Abb. 6 u. 7). Eine besondere Art dieser Bandmuster sind die Schriftfriese (Abb. 15), auf deren Schmuckwirkung man den allergrößten Wert legte, in so hohem Grade, daß man für viele Bauten wohl den Namen des kunstgeübten Schriftmalers, nicht aber den des Baumeisters überliefert findet. Tiergestalten oder menschliche Darstellungen sind dagegen im allgemeinen verboten, oder doch nur auf die Kleinkunst beschränkt. Nur ausnahmsweise findet man sie an profanen Bauwerken, z. B. mit einer ausgesprochenen Liebhaberei an den seldschukischen Mauerbauten von Konia.

2. Die Frühzeit der türkischen Kunst.

Wenn die Seldschuken von Konia auch nicht im engeren Sinne als die Vorfahren der heutigen Türken, der Osmanen, gelten können, so sind sie doch als rasseverwandtes, älteres Turkvolk auf die Entwicklung der osmanischen Kunst von größtem Einfluß geworden, so daß man sie als Vorläufer der Osmanen bezeichnen kann. Fast alle Formen der islamischen Kunst, die die Osmanen später aufnahmen, sehen wir hier teils in ihren Anfängen, teils schon in glänzenden Meisterlösungen vorgebildet.

Ala-eddin war derjenige der seldschukischen Sultane, der Konia zu einem Kulturmittelpunkt ersten Ranges erhob, indem er der vom Mongolensturm bedrohten persischen Kultur hier eine Zufluchtsstätte bot, aber gleichzeitig auch byzantinisches Wesen an seinen Hof zog. Er erbaute um 1220 auf dem Burgberge seiner Residenzstadt durch einen syrischen Architekten eine Moschee großen Stils. An einen älteren, kuppelgedeckten Mittelraum schließen sich rechts und links weite flachgedeckte Hallen auf zahlreichen Säulen an. Es ist also eine Hallenmoschee, die von dem syrischen Vorbild (Omaijadenmoschee in Damaskus) ausgeht.

Ganz unabhängig von dieser der Sammlung der Volksmassen oder Truppen zum Freitagsgebet dienenden Hallenmoschee sind nun die kleineren Moscheen und Me-

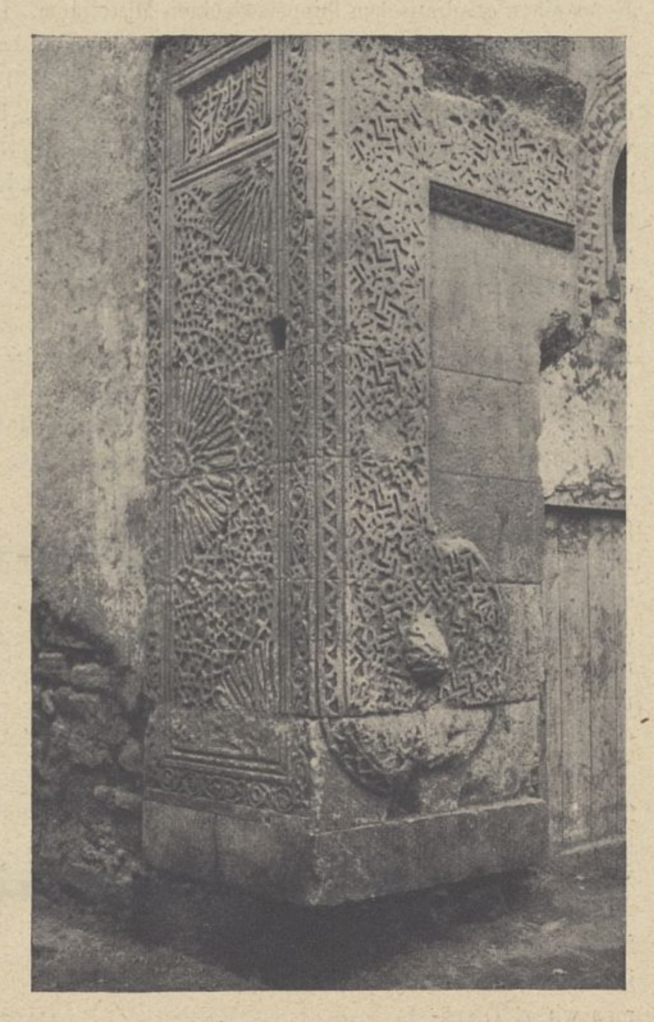
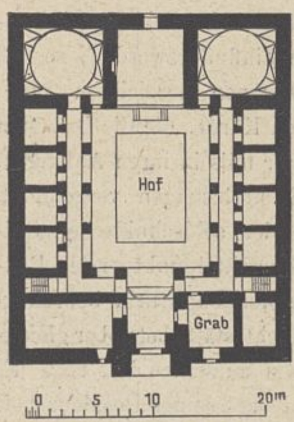
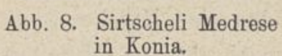


Abb. 7. Bandornament in Stein vom Sultan Han.
(Aufnahme von Sebah u. Joaillier.)

dresen der Stadt. Nirgends ist das oben erörterte Zusammenfließen der zwei persischen Grundformen, der Kuppelmoschee und der um einen offenen Hof entwickelten Iwan-Medrese, und daraus die Entstehung der Kuppelmedrese und der demselben Schema folgenden Medresen-Moschee, so deutlich zu verfolgen wie hier. Die Beispiele sind fast gleichalterig: die





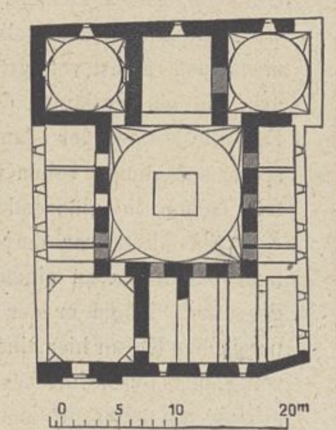


Abb. 8. Sirtscheli Medrese in Konia.

Abb. 9. Medrese des Kara Tai in Konia.

(Aufnahmen von O. Krecker, nach Sarre.)

Sirtscheli-Medrese (1242/43) (Abb. 4 u. 8) ist eine Iwanmedrese alten Stils, d. h. an einen von Hallen und Wohnzellen umgebenen Hof legt sich in der Achse der mit Spitztonnen überdeckte Betraum; rechts und links davon eine kuppelgedeckte Türbe. Die Medrese des Kara Tai (1251/52) (Abb. 9) dagegen zeigt bei sonst gleicher Anlage statt des offenen Hofes einen quadratischen kuppelgedeckten Mittelraum. Diese letztere Grundform ist vorbildlich geworden für die beiden reizvollen Anlagen, der Energe Djami (1258) (Abb. 13) und der nur wenig jüngeren Indsche Minareli (Abb. 12), beide von demselben Baumeister errichtet.

Ein eigenartiges Gepräge haben die Medresen und Moscheen Konias durch die ihnen ziemlich unorganisch vorgesetzten Torbauten erhalten. Es sind Prunkstücke. Auf eine große rechtwinklig umrahmte Tornische, oftmals von sehr schlanken Minarets begleitet, verdichtet sich die ganze Fassade. Diese seldschukischen Portale zwingen zur Bewunderung nicht so sehr durch ihre Größe an und für sich — sie erreichen höchstens 10 m Höhe — als durch die Eleganz der Erfindung und den Reichtum des Zierats, mit dem die Grundform übersponnen ist (Abb. 13). Bei dem oben geschilderten Gesamtcharakter dieser Formenwelt ist besonders bei der Indsche Minareli Djami ein starker Einschlag indischer Kunst unverkennbar.

Auf die weiteren Seldschukenbauten in Kleinasien kommen wir z. T. später zurück.

Ein anderes Bild zeigt der Anfang der Kunst bei dem jungen Naturvolk der Osmanen, die sich im Nordwesten Kleinasiens, also innerhalb alten byzantinischen Kulturlandes mit dem Schwerte in der Hand eine Herrschaft gründeten. Sie waren, ohne eigene Baukünstler und Handwerker zu besitzen, anfänglich auf die byzantinischen Architekten und Bauarbeiter des eroberten Landes angewiesen. Erst als sie zu Macht und Reichtum gekommen waren, konnten sie sich Meister aus den höher stehenden islamischen Nachbarreichen heranziehen und damit in den Entwicklungsgang der islamischen Kunst eintreten. Nun wurde das Byzantinische, wenigstens in der höheren Sakralbaukunst, von der islamischen Kunst zurückgedrängt, ohne doch ganz daraus zu verschwinden. Die byzantinische Mauertechnik, der Wechsel zwischen Werkstein- und Ziegelschichten, blieb die Regel, reine Werksteinbauten die Ausnahme. In dieser Weise sind in den Hauptstätten des jungen Osmanentums eine Reihe von Kunstwerken hohen Ranges entstanden.

Auffallend ist nun, daß, obgleich die Osmanen selber nicht die Künstler hervorgebracht hatten, die bei ihnen die Kunstwerke schufen, doch schon von den Jugendjahren des Osmanentums, d. h. vom 14. Jahrhundert an, eine bestimmte Bauüberlieferung bei ihnen herrscht, die auf die in schneller Folge unterworfenen Gebiete überging, so daß wir in der Folge mit vollem Recht von einem osmanischen Baustil sprechen können, der sich deutlich von dem seldschukischen, mehr noch von dem armenischen, persischen, syrischen und ägyptischen unterscheidet.

Zwei Arten von Moscheen finden wir in Brussa, die für die Frühzeit der osmanischen Kunst kennzeichnend sind. Beide leiten sich aus den in Konia festgestellten Grundformen her. Nämlich erstens eine Volksmoschee für die öffentlichen Freitagsgebete: die Ulu Djami (= Große Moschee), erbaut um 1370, vollendet erst 1421 nach dem Mongoleneinfall (Abb. 10 u. 11). Es ist ein recktekiger Bau, der durch 12 eingestellte schwere Pfeiler in 4×5 quadratische Felder geteilt ist, über deren jedem sich eine stattliche Kuppel erhebt. Nur das zweite Quadrat in der Mittelachse war ursprüng-

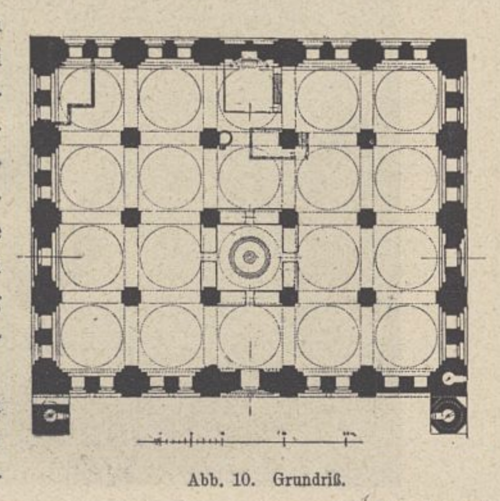


Abb. 10. Grundriß.



Abb. 11. Innenansicht.

Abb. 10 u. 11. Ulu-Djami in Brussa

(nach Wilde a. a. O.).

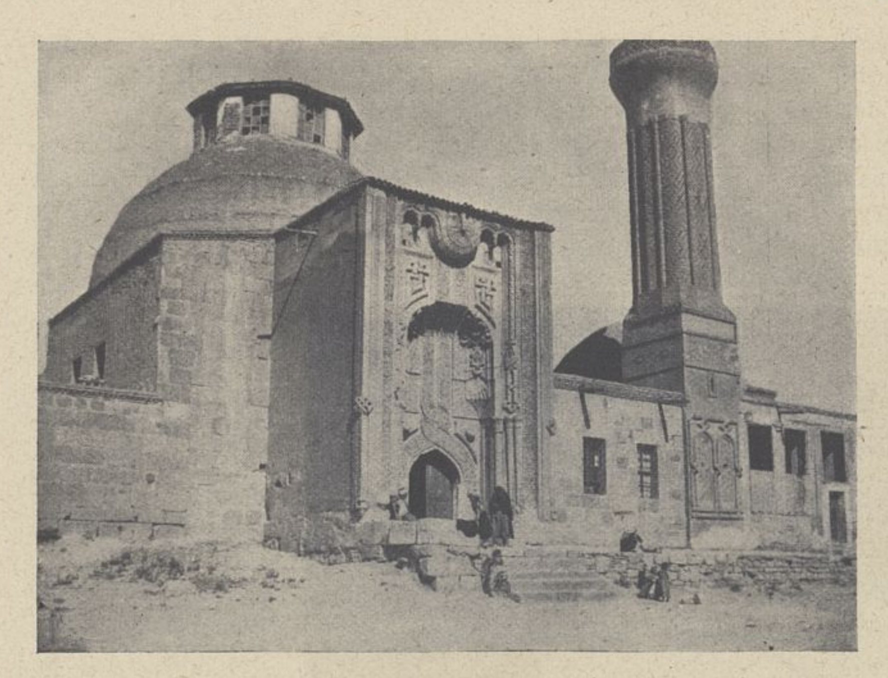


Abb. 12. Indsche Minareli Moschee in Konia.

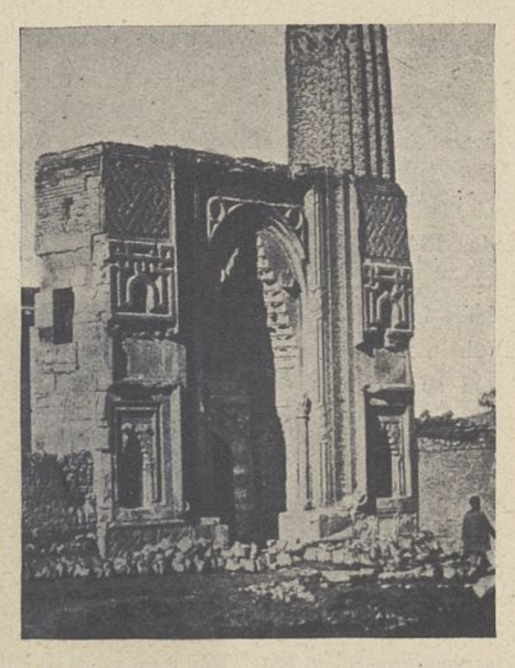


Abb. 13. Portalbau der Energe-Moschee in Konia (nach Sarre, Denkmäler).

lich nicht überwölbt, enthält dagegen das Brunnenbecken für die rituellen Waschungen. Diese großzügige, überwölbte Hallenmoschee ist offensichtlich der Ausläufer der arabischen Hof- und Hallenmoschee; das ungedeckte Quadrat die letzte Erinnerung an den ehemaligen Hof.

Eine Volksmoschee dieser Art wurde von den Osmanen auf ihrem Siegeszuge in jeder großen, von ihnen eroberten Stadt angelegt:[3]) In Adrianopel die Eski (= Alte) Muradije, von Murad I. (1351—81) gegründet und von Murad II. vollendet; in Philippopel die Djumaja (= Freitagsmoschee); in Sofia die „Große Moschee“, das heutige Nationalmuseum (1477—78); in Manissa (Kleinasien) die Muradije, letztere mit vier Säulen statt der sonst angewandten Pfeiler. Bei aller Einfachheit der Ausführung wirken diese Moscheen durch die Zahl der Kuppeln und die stattlichen Abmessungen. (Kuppeldurchmesser in Brussa 13 m!)

3) Nachfolgende Zusammenstellung nach Gurlitt.



Abb. 14. Moschee und Medrese Murads I. in Tschekirge bei Brussa (nach Wilde a. a. O.).

Neben der großen Volks- oder Freitagsmoschee errichtete nun jeder der in Brussa residierenden Sultane daselbst seine Privatmoschee, die mit der Türbe und der Medrese zusammen eine eigene Baugruppe bildet. Ausnahmslos sind das Anlagen, die sich, wie oben ausgeführt, aus dem Typus der Kuppelmedrese entwickelt haben (vgl. Abb. 5): den Mittelpunkt bildet ein kuppelgedeckter quadratischer Raum, in dem sich der alten Überlieferung folgend in der Regel ein sprudelnder Brunnen befindet. Daran schließt sich ein oftmals erhöhter Qiblaraum, ein Iwan, meist quadratischer Grundform an, der in den älteren Beispielen mit einem spitzbogigen Tonnengewölbe, später meistens mit einer zweiten Kuppel überwölbt ist. Links und rechts in der Querachse folgen seitliche Beträume, die in den reiferen Anlagen gleiche oder ähnliche quadratische Grundfläche haben wie der Mittelraum, jedoch in der Höhenentwicklung bescheidener gehalten sind als die beiden in der Achse gelegenen, die Baugruppe beherrschenden Kuppelräume. Oftmals schließen sich noch kleinere Nebenräume an, regelmäßig eine offene, meist mit fünf Gewölben überdeckte Vorhalle.

Die älteste Moschee dieser Art ist die des Orchan (1326—59). Sie ist aber in so erneuertem Zustande auf uns gekommen, daß man einstweilen nicht mit Sicherheit sagen kann, inwieweit sie als alte Anlage gelten kann.

Die Moschee Murads I (1359—89) in dem Dorfe Tschekirge bei Brussa (Abb. 14) ist insofern ein ganz eigenartiges Werk, als sie im Erdgeschoß als Moschee und im Obergeschoß als Medrese dient. Nur der Mittelraum und der Iwan sind über die beiden Stockwerke hinaus hochgeführt, während die Querschiffarme und die Nebenräume so niedrig gehalten sind, daß die Zellen und ein ganz kleiner Lehrraum darüber Platz haben. Zweigeschossig ist dementsprechend auch die Vorhalle, ein Werk byzantinischer Bauweise von klarer Achsenteilung und guten Verhältnissen.

Die Moschee Bajazids I. Jilderim (1389—1402), gleichfalls vor der Stadt gelegen, überrascht durch ihre hervorragend feine Außenarchitektur in grauem Marmor. Sie hat oben in der starken Außenmauer einen Wehrgang, dessen

Fenster dem Bau den Eindruck einer zweigeschossigen Anlage — gleich der Murads I. — geben. Der Grundriß ist nach dem oben geschilderten Schema meisterhaft durchgebildet und wurde vorbildlich für die nachfolgenden Moscheen.

Die Perle der Bauten Brussas ist die „Grüne Moschee" (Jeschil Djami) Mohameds I. (1413—21), so genannt wegen der Bekleidung der ehemaligen Minarets mit türkisblauen Glasuren. Die Vorhalle ist leider nicht erhalten. Dafür fallen um so mehr in die Augen die fein ornamentierten Fensterumrahmungen (Abb. 6) und das jetzt freiliegende Hauptportal: eine mächtige Tornische im seldschukischen Sinne, oben mit Zellenwerk geschlossen und von reichstem Rankenwerk umrahmt. Wirkt das Äußere mit seinen feinen, in weißem Marmor ausgeführten Architekturen schon überraschend, so ist der Eindruck des Inneren ganz überwältigend: Von den schlicht weiß gehaltenen Wänden und Kuppelflächen setzt sich ein hoher, aus türkisfarbenen und dunkelblauen Fliesen, durch aufgebrannte, ganz zierliche Goldornamente aufs feinste zusammengestimmter Wandsockel kräftig ab. Darüber hin zieht sich ein geschmackvoller Schriftfries. Auf einzelne Punkte sind kräftig wirkende Ornamentflächen gelegt. Zur höchsten Pracht erhebt sich die Dekoration bei dem ganz in Reliefliesen ausgekleideten Mihrab und den gegenüber gelegenen Logen für den Sultan und seinen Hof. Das sind Meisterwerke der Ornamentation und satten Farbengebung, die niemals in der Baukunst der Osmanen übertroffen worden sind. Um den Eindruck zu vervollständigen, muß man sich den leise plätschernden Marmorbrunnen mit seinem zierlichen, an das Modell einer kuppelgekrönten Moschee erinnernden, durch etwas Goldmalerei gehobenen Aufbau die reichen Holztüren und Fensterläden und die farbenprächtigen Teppiche, die den Boden bedecken, hinzudenken.

Abb. 15. Wandbekleidung und Fensterumrahmung in der Jeschil Djami in Brussa.
(Aufnahme von Sebah u. Joaillier.)

Bescheidener in der Ausstattung, aber von klarer und reifer Raumanordnung ist die Moschee Murads II. (1421—51), die sogenannte Muradije (Abb. 5). Eine weiträumige Vorhalle, die außen mit reizvollem Mosaik von Flachziegeln in Kalkputz (Abb. 16), das an persische aber auch an byzantinische Vorbilder erinnert, geschmückt ist, sowie die stimmungsvolle Lage der Moschee an der Seite eines märchenhaften alten Gartens mit mächtigen Platanen, dunkelernsten Zypressen und üppig blühenden Blumen, lassen in der Erinnerung die Muradije zu dem Schönsten zählen, was das Osmanenreich bietet.

Aufs engste verwandt mit den Bauten von Brussa sind die des unfern gelegenen Isnik (Nicaea). Da ist es zuerst die jetzt als Viehstall dienende Nilufer Chatun Imaret (um 1380). Nilufer, die Mutter Murads I. war eine persische Prinzessin, der die Überlieferung große Verdienste um die Einführung der islamischen Kunst bei den Osmanen zuschreibt. Der Bau zeigt von außen zwar noch stark die byzantinische Bauweise, gibt aber in seiner großzügigen Anlage das älteste, wohl erhaltene Beispiel der in Rede stehenden, voll entwickelten Kuppelmoschee (Abb. 17).

Ein Meisterwerk der osmanischen Frühzeit ist ferner die „Grüne Moschee", die an die gleichnamige, etwas jüngere Moschee in Brussa erinnert. Sie wurde von Cheireddin, dem Großvezir Murads I. 1384 bis 1889 erbaut. Neben der prachtvoll gezierten Vorhalle (Abb. 18) ist beachtenswert das Minaret, das in seinem alten, reich gemusterten Fliesenschmuck erhalten ist und der Moschee den Namen gegeben hat.

1361 hätte Murad I. Adrianopel genommen und dort seine neue Residenz aufgeschlagen. Auf ihn geht daselbst die oben erwähnte Hallenmoschee zurück, die sogenannte Muradije oder Alte Moschee. — Die nächste Moschee, die von Murad II. (1421—51) gebaut wurde und im Unter-

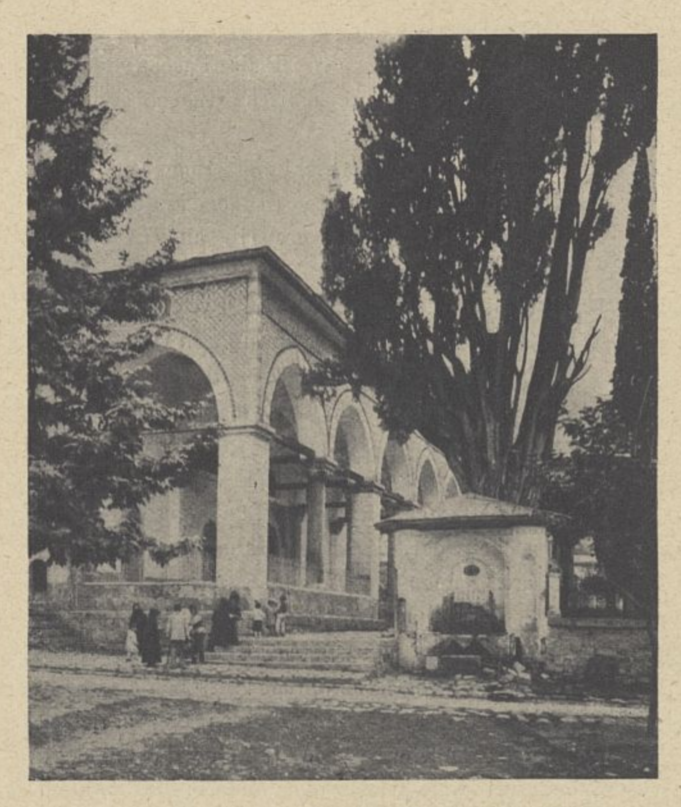


Abb. 16. Vorhalle der Moschee Murads II. in Brussa.

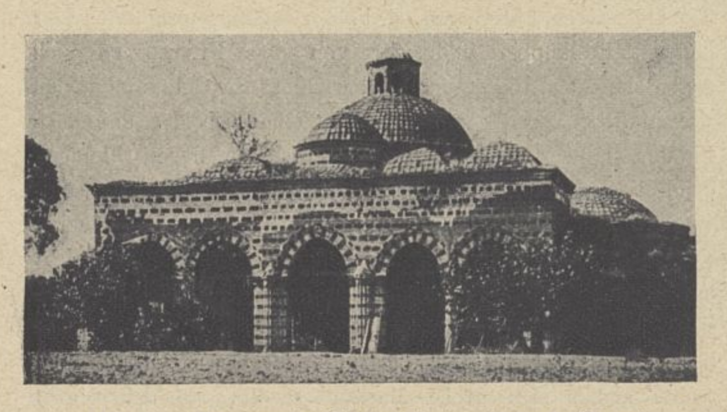


Abb. 17. Moschee der Nilufer Chatun in Isnik (Nicaea) (nach Gurlitt, Orient. Archiv III).

schiede von der vorigen als Jeni- (=Neue) Muradije bezeichnet wird, ist ganz in der Weise der Brussaer Kuppelmoscheen angelegt und zeichnet sich durch allerreichsten und feinsten Fayenceschmuck aus.

Noch eine Moschee stammt von demselben Fürsten, die Ütsch Scherifli Djami (1438—40) in Adrianopel (Abb. 19). Sie war als Volksmoschee großen Stiles und Sammelpunkt der osmanischen Gläubigen gedacht und genießt bis auf den heutigen Tag den Ruf großer Heiligkeit. Es ist die erste Moschee, die uns in mehrfacher Beziehung etwas ganz Neues zeigt, ein Bau, dessen auf architektonische Probleme gerichteter Grundgedanke nicht aus der islamischen Welt stammt, sondern aus dem Eindringen byzantinisch-griechischen Geistes zu erklären ist. Es ist ein breit-rechteckiger Raum, der mit einer aus dem Sechseck entwickelten Hauptkuppel und links und rechts davon je zwei kleineren Nebenkuppeln überwölbt ist. Zwei freistehende Pfeiler tragen die Gewölbe. Dieser breitrechteckige Raum war eine hervorragend geeignete Lösung für das Erfordernis einer islamischen Volksmoschee, besser noch als die alten Hallenmoscheen, die von zahlreichen eingebauten Säulen oder Pfeilern beengt erscheinen. Um weitere



Abb. 18. Vorhalle der Jeschil Djami in Isnik (Nicaea).

Mengen von Gläubigen aufzunehmen, ist ein geschlossener, hallenumgebener Hof organisch vor die Moschee gelegt, gleich dem Atrium der christlichen Kirchen. Es ist dies das älteste bekannte Beispiel eines solchen Hofes. Vier reich gestaltete Minarette — eine in der türkischen Kunst bis dahin unerhörte Anzahl — stehen an den Ecken des Hofes. Eines davon hat drei Galerien (scherif) für die Gebetsrufer — danach der volkstümliche Name der Moschee. So steht dieser großartige Bau schon auf der Grenze zwischen der Frühzeit und der Blütezeit der osmanischen Kunst.

3. Glanzzeit der türkischen Kunst.

Die Glanzzeit der osmanischen Kunst beginnt mit dem Fall von Konstantinopel, d. h. mit dem Augenblick, wo die

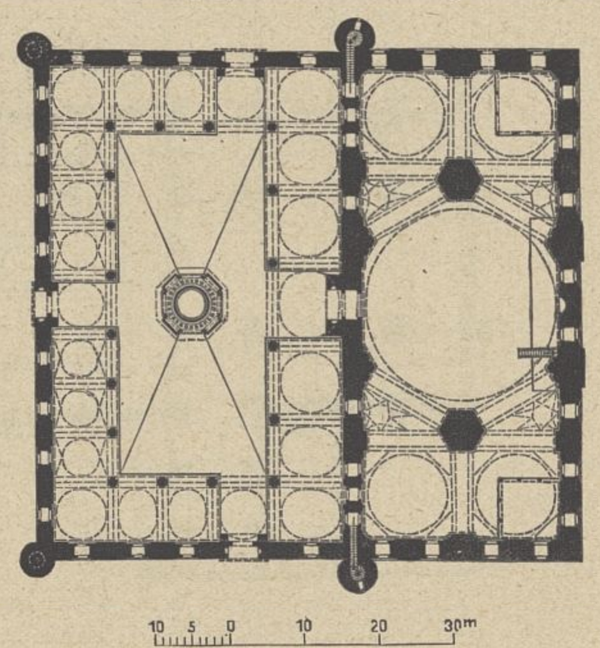


Abb. 19. Ütsch Scherifli Djami in Adrianopel (nach Gurlitt, Oriental. Archiv I).

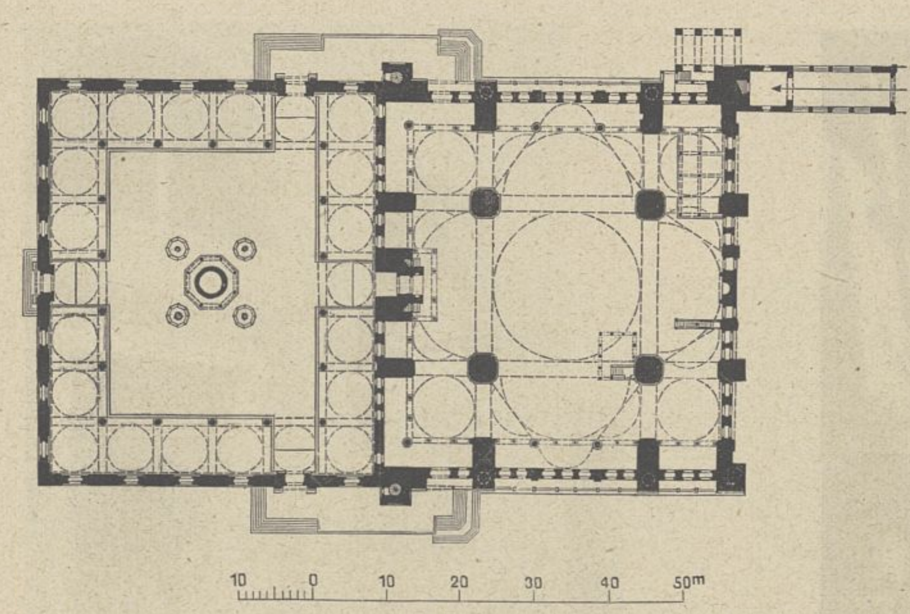


Abb. 20. Moschee Mohameds II. in Konstantinopel (Mehmedije) (nach Gurlitt).

türkischen Sultane das Erbe der byzantinischen Kaiser antreten. Groß wie der politische Ehrgeiz dieser gewaltigen Herrscher war auch ihre auf das Monumentale gerichtete Baugesinnung. Die bescheidenen Bautypen der Brussazeit konnten ihnen nicht mehr genügen. Nur vereinzelt finden sie sich noch als Stiftungen irgendwelcher Paschas. Als Beispiele der für Brussa kennzeichnenden doppelkuppligen Moschee seien in Konstantinopel genannt die Mahmud Pascha Djami (1464), die Murad Pascha Djami und die Atik Ali Pascha Djami (1497). Die gewölbte Hallenmoschee vom Ulu Djami-Typus findet sich hier nur in der Sindjirli Koju Djami (um 1500). Ein spätes Wiedervorkommen dieser Grundform — mit Säulen statt der Pfeiler — in der Moschee des Piali Pascha (1573) dürfte nur als archaistische Liebhaberei anzusprechen sein.

Die Weiterentwicklung ging von dem Bau der Fatihmoschee (= der Moschee des Eroberers) oder Mehmedije aus (Abb. 20), die Mohamed II. 1463—69 im Anschauen der Glanzbauten des alten Byzanz und im Wettstreit mit ihnen ausführen ließ. Die altberühmte Apostelkirche, die Gräberstätte der byzantinischen Kaiser, mußte dem Ruhmesmal des neuen Glaubens weichen. Mit der Bauausführung wurde aber nicht mehr ein Meister ferner islamischer Länder, sondern ein Grieche, christlicher Herkunft und christlichen Namens, Christodulos, betraut.

Die Apostelkirche war ein im griechischen Kreuz mit fünf Kuppeln errichteter Bau gewesen. Von ihrem Aussehen kann die Markuskirche in Venedig einen Begriff geben. Ebenfalls im griechischen Kreuz wurde die Mehmedije angelegt. Die Überwölbungsart war jedoch eine andere: das System des Längsschiffs der Hagia Sofia wurde auf eine kreuzförmige Anlage übertragen, d. h. der Raum wurde mit einer hohen Mittelkuppel und vier von den Kreuzarmen sich gegenlehnenden Halbkuppeln überwölbt, die letzteren genau wie in dem Vorbilde von je drei kleinen Absiden aufgelöst. In den Ecken zwischen den Kreuzarmen liegen kleinere, quadratische, kuppelgedeckte Räume, so daß der Gesamtgrundriß in ein großes Quadrat eingeschrieben erscheint. Vor der Moschee ist ein stattlicher Hof (haram) angelegt mit Säulenhallen und einem Brunnen (schadriwan), malerisch im Schatten alter Zypressen. Hinter der Moschee liegt der Garten mit der Türbe des Eroberers. Links und rechts ziehen sich große Marktplätze hin, an denen acht Medresen, Armenküchen, Hane zur Aufnahme der durchreisenden Kaufleute, zu finden sind. Die Mehmedije mit

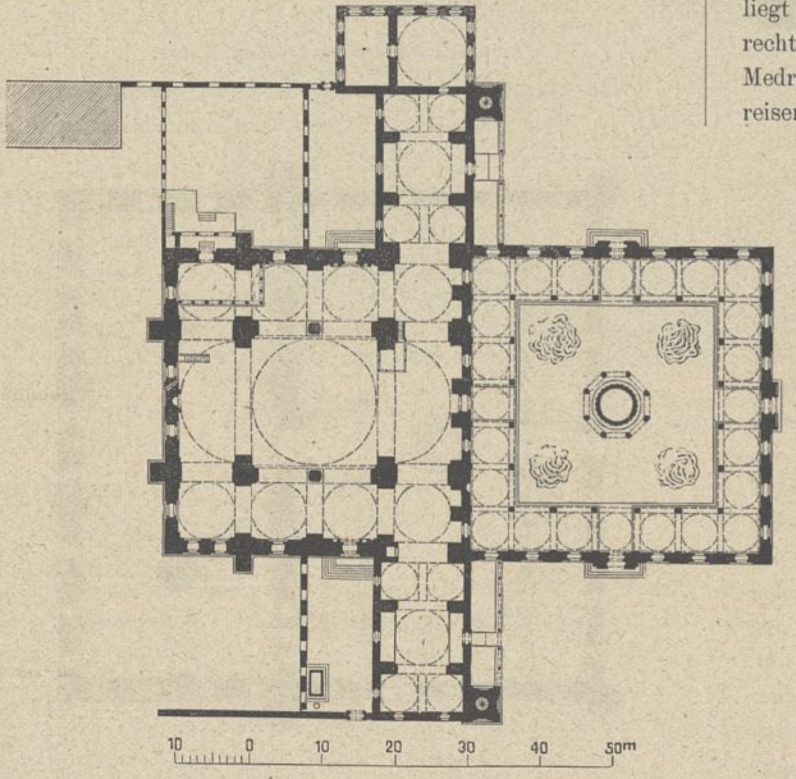


Abb. 21. Moschee Bajazids II. in Konstantinopel (sog. Bajazidije) (nach Gurlitt).

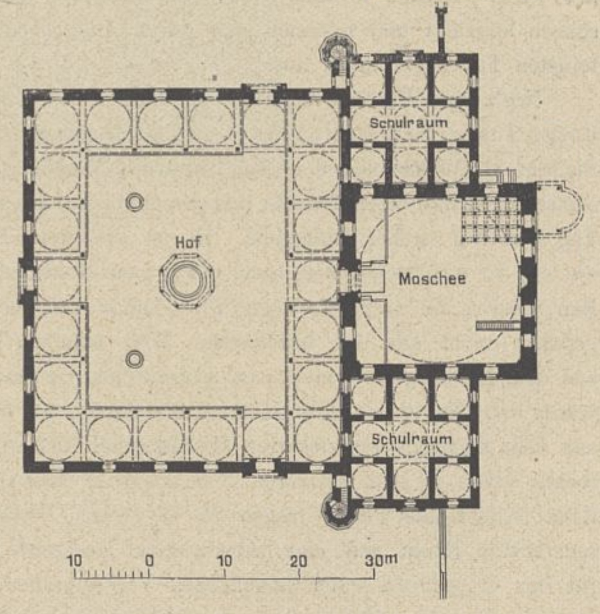


Abb. 22. Bajazidije in Adrianopel (nach Gurlitt, Oriental. Archiv I).

ihren Nebenanlagen nimmt den ganzen Gipfel des vierten Hügels der Stadt ein. Der Bau wurde durch ein starkes Erdbeben 1766 beschädigt und infolgedessen zum größten Teil niedergelegt und neu aufgeführt. Für unser Urteil über die ältere Bauanlage kommt daher nur die jetzige Gesamtanlage und wenige Einzelheiten in Betracht. Den ganzen inneren Aufbau mit seiner geschmacklosen Ausmalung müssen wir dagegen dem 18. Jahrhundert zuschreiben. Eine Vorstellung von der ehemaligen Ausbildung kann uns der prächtige Hof mit einigen seiner alten Fensterumrahmungen geben, die an die Moschee Murads II. in Brussa erinnern.

Die Bedeutung der Mehmedije für die fernere osmanische Kunst ist eine ganz außerordentliche. Nur in den Einzelformen lebt die islamische Überlieferung fort, in der Bauanlage aber ist hier ein scharfer Bruch mit der bisherigen islamischen Bauweise festzustellen. Der Geist der Griechen, der in den letzten Jahrhunderten des byzantinischen Verzweiflungskampfes verkümmert schien, sich aber unter dem gewaltigen Szepter der Türken neu entfalten konnte, knüpfte an die Schöpfungen der Altvorderen an. Eine Renaissance der Spätantike entstand so unter ganz veränderten äußeren Verhältnissen, die der italienischen Renaissance hätte ebenbürtig werden können, wenn die Schwesterkünste der Architektur, Malerei und Bildhauerei, ebenfalls eine Stätte im Islam gefunden hätten.

In ihrer ursprünglichen Gestalt reiner erhalten ist die Bajazidije, die der Sohn des Eroberers, Bajazid II. nach dem Vorbilde der Hagia Sofia 1501—1507 ausführen ließ (Abb. 21). Es ist eine dreischiffige Anlage; das Mittelschiff ist von hoher Mittelkuppel und zwei angelehnten Halbkuppeln, die Seitenschiffe dagegen von je vier kleinen Kuppeln überdeckt. Zwei Medresen schließen sich als Flügelbauten an. Ein Hof von sehr schönen Verhältnissen ist vorgelegt. Als Baumeister wurde bislang Chaireddin, also ein Moslim, genannt. Das scheint aber (nach Gurlitt) auf einer Verwechslung mit dem Bauherrn der Moschee, dem bekannten Großadmiral desselben Namens zu beruhen. Auch hier dürfte wohl ein Grieche der Urheber sein. In diesem wohlerhaltenen Beispiel sieht man, daß nicht nur der Raumgedanke, sondern auch die Formensprache nicht mehr rein islamisch ist. Byzantinischer Schichtenwechsel von weißem und schwarzem Marmor in den Arkaden des prächtigen Hofes gibt das vorherrschende Motiv, wogegen die Zellenkapitelle, die Fensterumrahmungen und die in seldschukischem Sinne behandelten großen Portale die Frische und den Reiz der Bauten der türkischen Frühzeit vermissen lassen.

An dieser Stelle müssen wir die Bajazidije Adrianopels einreihen, welche der Überlieferung nach von Bajazid I. Jilderim (1389—1402) stammen soll, dem Stil nach aber unzweifelhaft der Zeit Bajazids II. (1489—1512) angehört (Abb. 22) Auf einem mächtigen Steinwürfel ruht mittels tief heruntergezogener Zwickel eine Halbkugelkuppel von 21,6 m Durchmesser ohne irgendwelche den Raum beengende Stützeneinbauten. Es ist eine Übersetzung der türkischen Türbe ins Gewaltige. Zwei Medresensäle quadratischer Gesamtform schließen sich rechts und links an. Ein Hof der üblichen Form ist vorgelagert.

Die neuerstandene byzantinisierende Raumkunst wurde auf die Höhe gebracht durch den genialsten Baumeister der Türken: Sinan (1489 bis 1578). Christlicher Abkunft hatte er im Ingenieurkorps der Janitscharen seine Ausbildung genossen. Als erster Baumeister Sulejmans des Prächtigen (1520 bis 1566) entfaltete er während eines langen Lebens eine so umfangreiche Bautätigkeit, wie kaum ein anderer Baumeister der Welt. Unter den 318 Bauwerken, die Sinan für sich selber in Anspruch nimmt, gehören vier zu den Großmoscheen der türkischen Kunst. Sie zeigen am besten die Entwicklung des Künstlers.

Abb. 23. Moschee und Türbe Selims I. in Konstantinopel (nach Gurlitt, Die Baukunst Konstantinopels).

Sinan ist keiner der großen Neuerer der Baugeschichte. Meist knüpft er an ältere Lösungen an. Aber dank seiner außerordentlichen Begabung für Raumgestaltung und Kuppelbildung bringt er jedesmal die von ihm gewählte Raumform zur höchsten Vollendung, die die türkische Kunst erreicht hat. Die Werke seiner letzten Zeit endlich zeigen Sinan als einen Meister, der den größten aller Architekten zugerechnet werden muß.

Sein erster Bau, die Selimije in Konstantinopel (Abb. 23), wahrscheinlich erst nach dem Tode des Jawus Selim I. (1520) begonnen, hält sich an das Vorbild der Bajazidije in Adrianopel. Nur ist hier der Kuppeldurchmesser auf 24,4 m gesteigert. Edel sind die Formen und Verhältnisse, einfach, fast dürftig die Ausstattung, jedoch nicht ohne Geschmack.

Bei der zu Ehren des früh verstorbenen Schah-Sade (=Kronprinzen) errichteten Schah-Sade Sultan Mohamed Djami nahm Sinan sich die Mehmedije zum Vorbild. An Abmessungen verhältnismäßig bescheiden, aber in der vereinfachten und ausgereiften Raumform ihr Vorbild übertreffend, entzückt sie durch die prächtige Durchbildung der Einzelheiten.

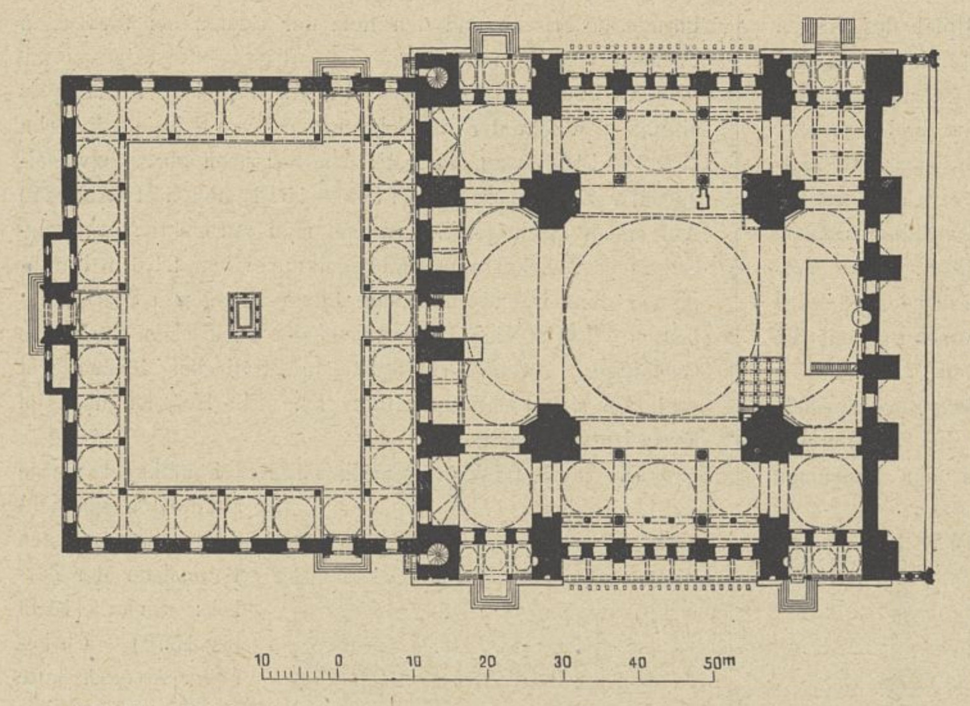


Abb. 24. Moschee Sulejmans des Prächtigen (sog. Sulejmanije) in Konstantinopel (nach Gurlitt).

Die Moschee Sulejmans selber, die Sulejmanije (erb. 1550—1556) (Abb. 24), übernimmt dagegen von der Bajazidije das Schema der Hagia Sofia, letzterer in den Abmessungen sich nähernd (Kuppeldurchmesser der Hagia Sofia 31,5 m, der Bajazidije 17,5 m und der Sulejmanije 26 m). In äußerst geschickter Weise hat Sinan das System der Bajazidije weiter ausgebildet, indem er zwischen die mächtigen, seitlichen Strebepfeiler teils Eingangsvorhallen, teils äußere und innere schmale Galerien einbaute. Die großen Emporen jedoch, die für die Hagia Sofia kennzeichnend sind, fehlen hier, ebenso wie in der Bajazidije. Dadurch sowohl wie durch die schlankere Bildung sämtlicher Einzelformen, bekommt der Bau etwas Ansteigendes, Aufstrebendes. Das Innere (Abb. 26) zeigt eine glänzende Durchbildung besonders der mit Fayencen geschmückten Qiblawand mit ihrem prächtigen Mihrab, dem reichen Mimbar und den alten leuchtenden Buntfenstern, so daß auch eine ziemlich ungeschickte, im Maßstab verfehlte, neuere Ausmalung der Kuppel den erhabenen Eindruck, den dieser Innenraum macht, kaum zu trüben vermag.

Sinan selber soll die Selimije in Konstantinopel als sein Lehrlingsstück, die Sulejmanije als sein Gesellenstück, aber die Selimije in Adrianopel (Abb. 25) als sein Meisterstück bezeichnet haben. Letzteres war die Moschee, die sich Selim II. (1566 bis 1574) erbauen ließ. Hier zeigt sich Sinans Kunst in voller Reife und großer Selbständigkeit. Von dem Schema der Sergius- und Bacchus-Kirche ausgehend überwölbt er hier einen mächtigen quadratischen Raum mittels einer Achteckkuppel und vier an die Diagonalseiten angelehnten Halbkuppeln. Durch seitlich angefügte Nebenschiffe erweitert er das Quadrat zum Rechteck, der für den islamischen Kult idealen Grundgestalt. Die Kuppel hat hier den Durchmesser der Hagia Sofia erreicht (31,5 m), ruht aber dank der statisch günstigeren Lastverteilung auf acht verhältnismäßig schlanken Pfeilern, von denen vier durch die gegengebaute Eingangs- und die Qiblawand gestützt, die vier anderen dagegen frei im Raum stehend durch Strebepfeiler, in denen die Treppenhäuser liegen, versteift sind. In derselben Weise wie bei der Sulejmanije sind die Zwischenräume zwischen den Strebepfeilern zu Vorhallen und Galerien ausgenutzt. Vier schlanke Minarets in den Diagonalachsen neben der Kuppel und ein stattlicher Hallenhof vollenden die Baugruppe.

Das Problem für Sinan liegt immer darin, einen quadratischen oder rechteckigen Raum einheitlich zu überwölben unter Verwendung möglichst weniger, den Raum verengernder Stützen. Über diesen rein architektonischen Gedanken vernachlässigt er oft die Einzelausbildung, deren Formen er ohne Selbständigkeit aber mit Geschmack von der älteren türkischen oder byzantinischen Kunst übernimmt.

Über diesen Großbauten darf man die Moscheen bescheidener Größe nicht übersehen, von denen Sinan eine schier unglaubliche Anzahl errichtete. Manche davon überraschen durch ihre geschickte Raumlösung, andere durch den Glanz der Ausstattung. Da ist z. B. die Moschee des Rustem Pascha, des Großwezirs und Schwiegersohns Sulejmans. Inmitten enger, winkliger Straßen steht auf hohem Unterbau, der für Speicher ausgenutzt ist, die Moschee mit ihrem Vorhof. Sie ist ein kuppelgedecktes Quadrat, an das sich schmale Seitenschiffe mit Emporeneinbauten anlegen. Davor eine als Betplatz für das Volk dienende Vorhalle. Innen und in der Vorhalle ist die Moschee mit den allerköstlichsten, bunten Fliesen geziert, jedes Wandfeld verschieden, eine Fülle der Motive, die erstaunlich ist. Dazu

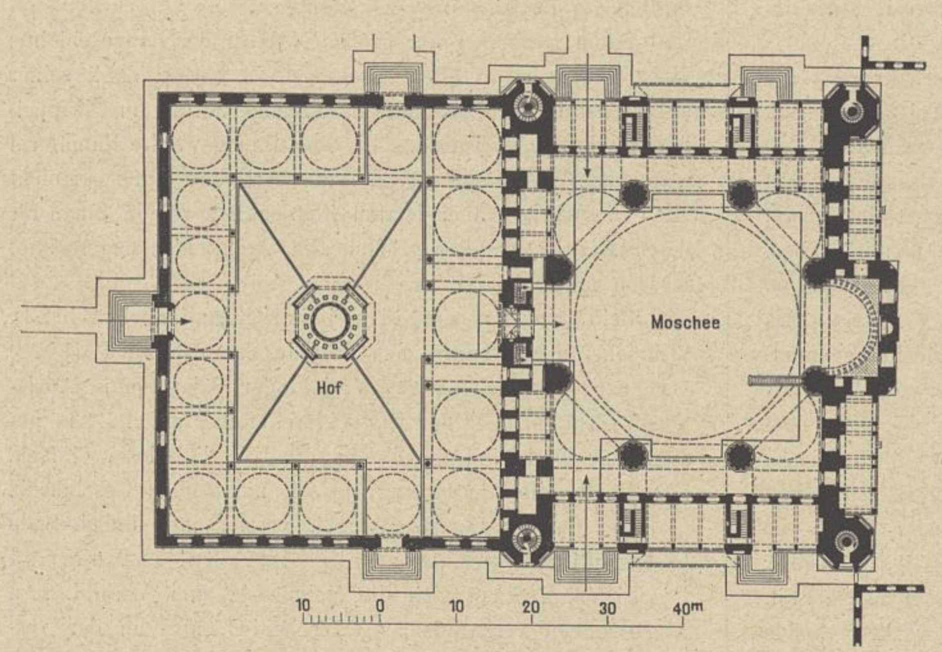


Abb. 25. Moschee Selims II. (sog. Selimije) in Adrianopel (nach Gurlitt).

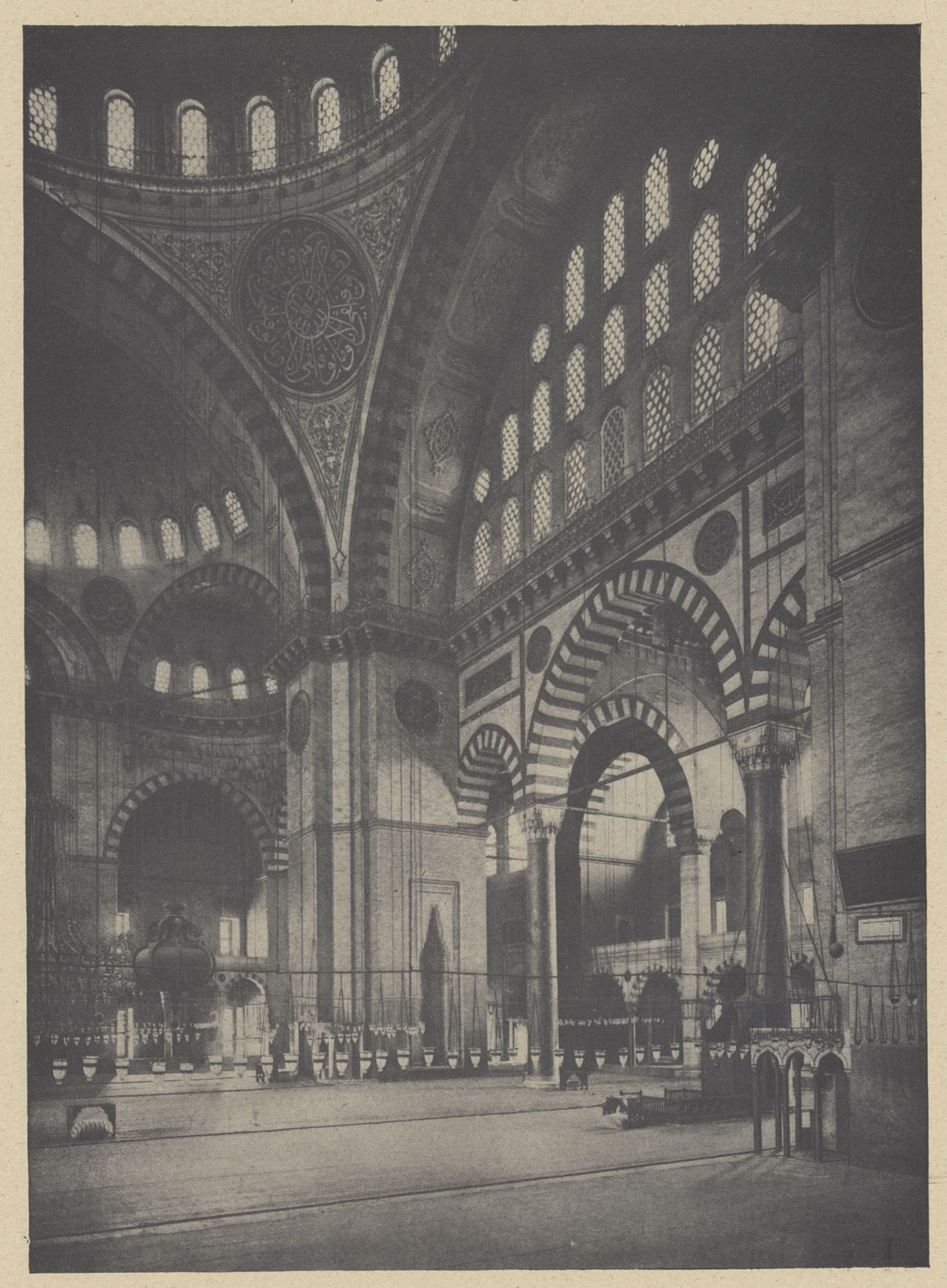


Abb. 26. Inneres der Sulejmanije in Konstantinopel
(nach Gurlitt, Die Baukunst Konstantinopels).

die Buntfenster mit ihren fein geschwungenen Linien, reiche Marmormosaikfußböden, die freilich zum größten Teil durch noch farbenprächtigere alte Teppiche verdeckt sind, Türen und Fensterläden und sonstige Tischlerarbeiten, die aus schmalen Profilleisten von kostbaren Hölzern, in kunstvoller Musterung zusammengeschnitten sind, so daß die dazwischen eingesetzten kleinen Rankenwerkschnitzereien oder Einlagen von Perlmutter und Elfenbein wieder Sterne oder Rosetten zusammen bilden — das alles ergibt ein Bild von außerordentlicher Pracht und Schönheit.

Ähnlich in der Anlage ist die Moschee der Gemahlin des Rustem Pascha, der Prinzessin Mihrimah, auf dem höchsten Hügel an der Stadtmauer gelegen und daher zu den kennzeichnenden Bauten im Städtebild gehörend.

Wenig jünger ist die Moschee des Mehmed Sokolli Pascha. Sie ist wie die Ütsch Scherifli Djami in Adrianopel (Abb. 19) aus dem Sechseck entwickelt, nur daß Sinan statt der seitlich angeschlossenen vier kleinen Kuppeln Halbkuppeln gegen die Hauptkuppel lehnt uud so eine sehr günstige einheitliche Raumüberdeckung eines Rechtecks mit nur zwei dicht an die Seitenwände gerückten Pfeilern schafft — eine Lösung, die Sinan noch öfter angewandt hat. An Reichtum und Schönheit der Ausstattung wetteifert die Moschee des Mehmed Sokolli Pascha mit der fliesengeschmückten des Rustem Pascha. Der der Moschee vorgelegte quadratische, hallenumgebene Hof dient zugleich einer Medrese, deren kuppelgedeckter Iwan der Moschee gegenüberliegt. Der Hof ist $5\,^1/_2$ m über das Pflaster der vorbeiführenden Straße erhöht. Den Zugang mit breiter Treppe hat man unter den Iwan gelegt und dadurch ein sehr malerisches Eingangsmotiv gewonnen.

Nach Sinans Tode (1578) stand man mehrere Jahrzehnte lang ganz im Zeichen seiner gewaltigen Bauschöpfungen und monumentalen Bauauffassung. Aber es ist ein Stillstand zu bemerken; man zehrt nur noch vom Vermögen der Väter, ohne selber weiter zu arbeiten. Trotzdem ist das Bild, das uns die Moscheen dieser Zeit geben, noch ein glänzendes, vor allem das der Moschee Achmeds I. (1603—17).

Die Achmedije (1609—19) unweit der Hagia Sofia am alten Hippodromplatz errichtet, nimmt wiederum das Vorbild der Mehmedije auf, versucht aber durch Steigerung der Abmessungen der Gesamtanlage, durch Vergrößerung und Vermehrung der Höfe, durch Erhöhung der Anzahl der Minarette auf sechs, alles bisher dagewesene zu übertreffen, ohne doch rein künstlerisch die Sinanschen Meisterwerke zu erreichen (Abb. 28). Die vier Rundpfeiler, auf denen die Kuppel ruht, wahrscheinlich den „Elefantenfüßen“ der älteren Mehmedije nachgebildet, versuchte man durch Kanellierung schlank erscheinen zu lassen, verdarb aber den gewünschten Eindruck durch ungeschickte Teilung der Pfeiler in der Mitte durch Gesimse mit breiten Spruchbändern dazwischen. Pfeiler und Wände sind bis unter die Kuppel mit bunten Kacheln bekleidet oder in ähnlicher Weise bemalt; der obere Abschluß dieser bunten Wandflächen bildet jedoch eine harte und häßliche Linie an den einschneidenden weißen Zwickeln der Kuppeln. So wirkt der mächtige Raum, der von allzuviel Licht aus den zahlreichen, ihrer alten Buntverglasung beraubten Fenstern durchflutet ist, trotz einiger reicher Ausstattungsstücke künstlerisch unbefriedigend. Auch die Außenerscheinung ist durch die Häufung der verschieden großen, aber sonst gleichartig gebildeten Haupt- und Nebenkuppeln, Halbkuppeln und Kuppelchen unklar geworden.

Erfreulicher wirkt dagegen die malerisch inmitten enger Straßen und Plätze an der Neuen Brücke von Stambul gelegene Jeni Walide Djami (= Neue Moschee der Sultanin-Mutter) (Abb. 27). Etwa gleichzeitig mit der Achmedije begonnen, zog sich der Bau jedoch in die Länge, wurde nach der Erdrosselung der Walide Mahpeiker eingestellt und erst 1663 von der Walide Terhan Hadschie zu Ende gebracht. Es ist wieder ein Werk nach der beliebten Anordnung der Mehmedije. Im Innern reicher Kachelschmuck, außen die reizvollen Hallen, Treppen und Brunnen, sowie der stattliche Bau der Sultansrampe, unter der die Straße hindurchgeführt ist, lassen die Jeni Walide Moschee zu den malerischsten und schönsten Bauschöpfungen des alten Stambul zählen.

4. Die profane Baukunst.

So reich wie die sakrale Baukunst der Türken ist die profane keineswegs. Ja man kann im ganzen Islam, soweit nicht die Moscheenbauten und ähnliches in Frage kommen, von einer gewissen „baufeindlichen Gesinnung“ sprechen[4]). Und im besonderen liegt dem Türken vielleicht von seiner nomadischen Vergangenheit her bis auf den heutigen Tag nicht viel an einem monumentalen Wohnhause. Schon im 16. Jahrhundert, in der Glanzzeit der türkischen Kunst, berichtet der deutsche Gesandte Busbecq, ein guter Beobachter türkischen Lebens, daß den Türken durch ihr Gesetz prächtiges Bauen als ein Zeichen des Stolzes und der Hoffart verboten sei[5]). Hinzugekommen sein mag auch die ständige Erdbebengefahr, die den Türken ein leichtes Fachwerkhaus bevorzugen ließ, dessen rohes Ständerwerk mit Stakung versehen, mit Lehm ausgedrückt und beiderseits mit Brettern verschalt wurde. Diese leichte Bauweise, bei der man das Obergeschoß in zahlreichen Fenstern öffnen, sowie durch Erker und Balkone, Holzgitter, Balustraden und

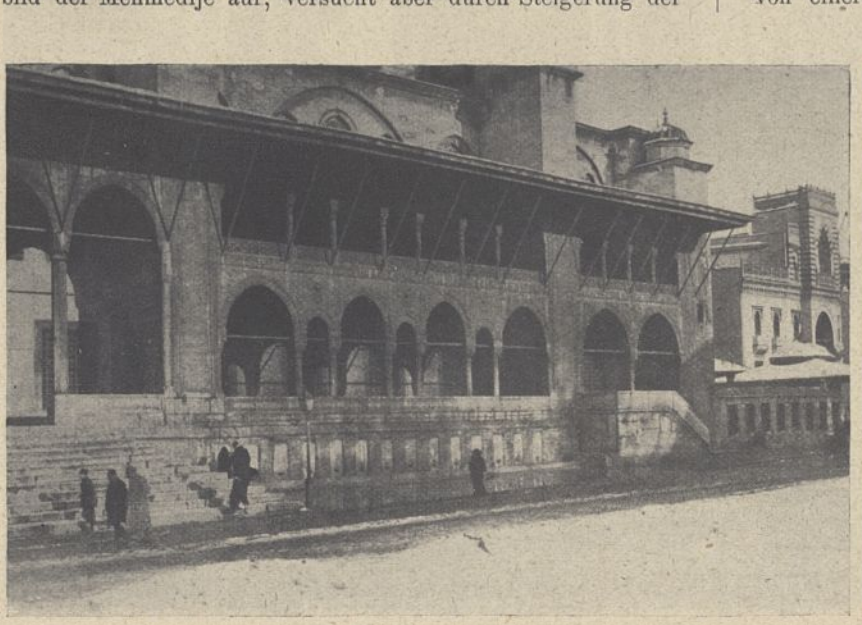


Abb. 27. Jeni Walide Moschee in Konstantinopel.

4) Sarre, Denkmäler pers. Bauk. S. 3.
5) Gurlitt, Bauk. Konst. S. 96.



Abb. 28. Moschee Achmeds I., sog. Achmedije in Konstantinopel.

weit überstehende Dächer luftig und graziös gestalten konnte, genügte auch den anspruchsvolleren türkischen Großen. Sie bildet aber auch die Ursache der furchtbaren Feuersbrünste, die Konstantinopel, ebenso wie andere türkische Städte, so oft heimsuchen.

Von dieser leichten Holzbauweise stechen vorteilhaft ab eine Anzahl massiver Häuser byzantinischer Bauart, vor allem die stattlichen Wohnhäuser der alten, reichen Griechenfamilien, die nach der Eroberung der Stadt veranlaßt wurden, sich in dem Stadtteil Phanar anzubauen. Es sind Bauten mit wechselnden Stein- und Ziegelschichten. Das Obergeschoß ist meist auf dicht gereihten kräftigen Steinkonsolen übergekragt.

Von den alten Sultanspalästen steht in Konia nur noch eine dürftige Ruine, in Brussa ein Mauerzug, in dem jetzt militärische Depots eingebaut sind. Der große Palast von Adrianopel wurde ein Opfer des Russenkrieges 1878. In Konstantinopel ist von dem ältesten Palast, der an der Stelle des heutigen Kriegsministeriums lag, nichts geblieben. Jetzt ist daher das auf der Spitze von Stambul gelegene Eski (= alte) Serai (oder Top Kapu Serai genannt) der älteste erhaltene Palastbau der Türken. Es ist ein ausgedehnter, mit doppeltem Mauerzuge stark befestigter Bezirk, in dem sich um mehrere Höfe gruppiert oder frei in den Parkanlagen stehend zahlreiche scheinbar planlos errichtete und den verschiedenen Zeiten angehörende Gebäude finden. Soweit Europäern bislang der Zutritt gestattet worden ist, trifft man in den alten Bauteilen wohl Zimmer und Galerien mit prachtvoller Innenausstattung in reichem Fayenceschmuck, aber ohne eigentlich architektonische Bedeutung.

Unter den einzeln stehenden Gebäuden beansprucht der Tschinili-Kiosk (= Fayencekiosk) (Abb. 29) in mehrfacher Hinsicht eine besondere Wertschätzung. Er ist wohl der älteste türkische Profanbau, der gut erhalten ist (erbaut 1466), und wurde in persischen Formen von Kemaleddin errichtet: eine kreuzförmige Anlage mit Mittelkuppel, rückseitig angefügter vielseitiger Apsis, vier Nebensälen in den Ecken und einer vorgelegten Halle mit enggestellten, schlanken Achtecksäulen. Ganz aus dem Rahmen dessen



Abb. 29. Tschinili-Kiosk (Fayence-Kiosk) in Konstantinopel.

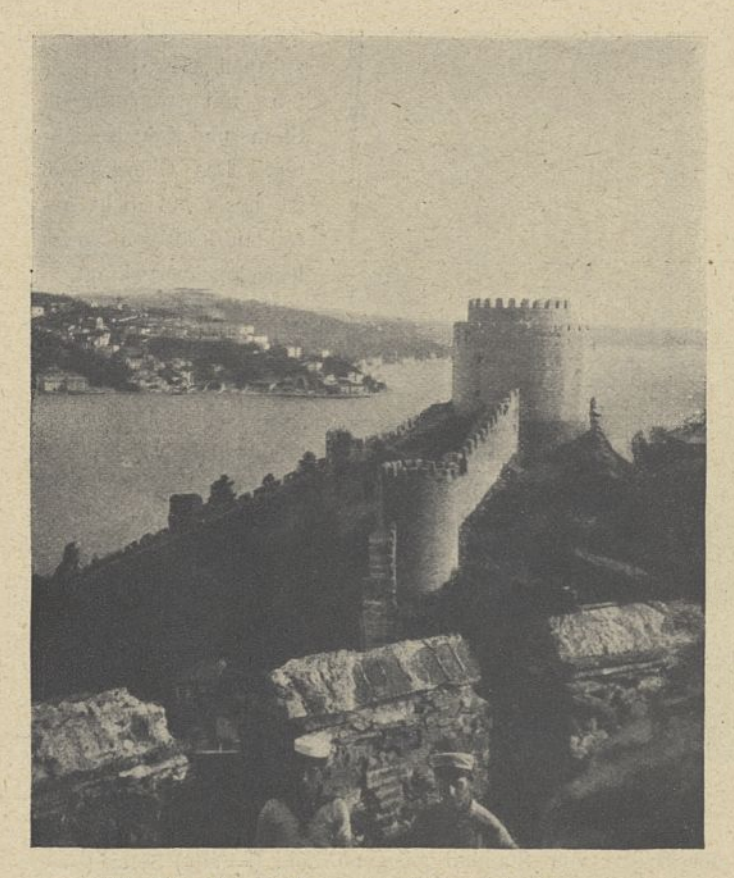


Abb. 30. Rumeli Hissar mit Blick auf den Bosporus.

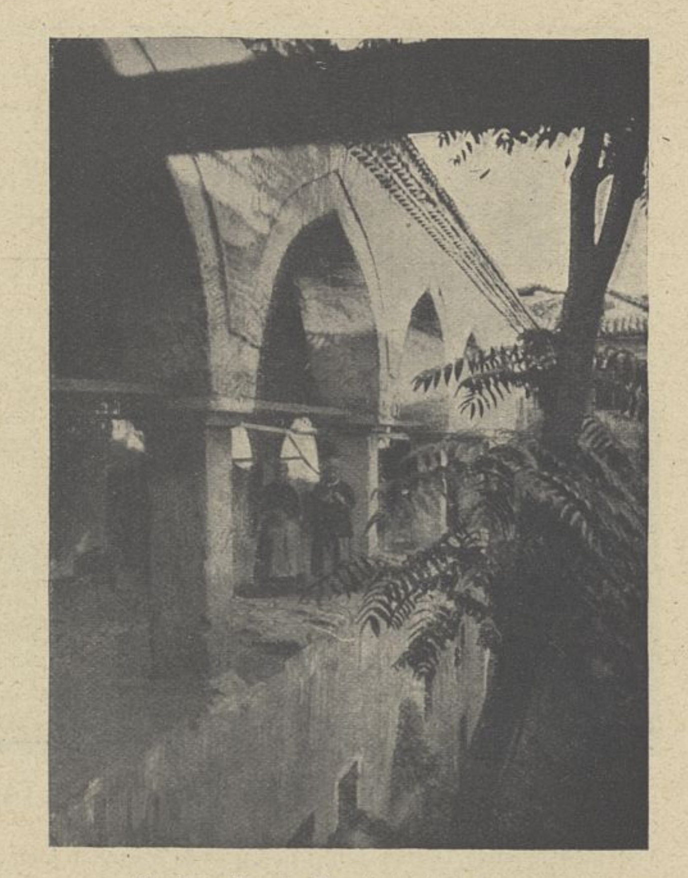


Abb. 31. Han in Konstantinopel, Innenhof.

heraus, was wir bislang als türkische Bauweise kennen gelernt haben, fallen hier die „stark ausgeprägten Kielbogen und die merkwürdigen rippenartigen Ansätze und Linienspiele in der Überwölbung der Räume, die Ausbildung der Stalaktiten, die zur Kuppel überführen, die Art der Säulen und des Gesimses an der sehr eigenartigen Säulenhalle" (Gurlitt). Die Glasuren, nach deren reicher Verwendung der Bau seinen Namen führt, bestehen aus bunten glasierten, rechteckigen Ziegeln, die man zu gefälligen Mustern zusammengesetzt hat. Ein breites Inschriftband in Fayence, das sich in der Eingangsnische herumzieht, gehört dagegen offenbar erst einer Ende des 16. Jahrh. stattgefundenen Wiederherstellung an.

Kioske ähnlicher Bauart, d. h. Zentralräume mit angefügten vier Iwanen, finden sich noch mehrfach innerhalb des alten Serai, so vor allem der reizende, mit Säulenhallen umgebene Baghdadkiosk (1634—39).

Von der türkischen Befestigungskunst ist in diesem Zusammenhang nicht viel zu sagen. Die Mauern von Konia mit ihrem ehemals reichen plastischen Schmuck sind verschwunden. Die Mauern von Brussa und Isnik fußen hauptsächlich auf byzantinischen Arbeiten. Ebenso haben sich die Türken in Konstantinopel mit Ausbesserungen und Neuaufführungen ohne künstlerische Bedeutung begnügt. Einen sehr stattlichen Eindruck machen dagegen auch heutzutage noch die alten türkischen mit gewaltigen Turmbauten versehenen Sperrfestungen an den Dardanellen Kilid ül bahr und Kale i Sultanie (beide 1462 erbaut) und am Bosporus Anadolu hissar (1393) und gegenüber Rumeli hissar (1452) (Abb. 30).

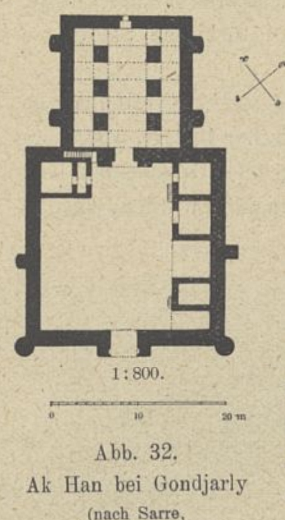


Abb. 32.
Ak Han bei Gondjarly
(nach Sarre, Reise in Kleinasien).

Für den öffentlichen Verkehr, waren die Hane bestimmt, die an den Karawanenstraßen und innerhalb der Städte errichtet wurden, damit die Reisenden darin absteigen und gegebenenfalls ihre Waren zum Verkauf stellen konnten. Zahlreiche Hane der Art sind aus der Seldschukenzeit erhalten. Der Grundriß zeigt in der Regel zwei Teile, einen annähernd quadratischen Hof, beiderseits von geschlossenen Räumen oder Gewölben umgeben, und einen in der Achse sich anschließenden gewölbten Saalbau. Inmitten des Hofes befindet sich der Brunnen und meistens eine kleine Moschee für die Gebetsverrichtung. Die außerhalb der geschlossenen Ortschaften gelegenen Hane sind dazu mit hohen Außenmauern und Türmen verteidigungsfähig gemacht (Abb. 32).

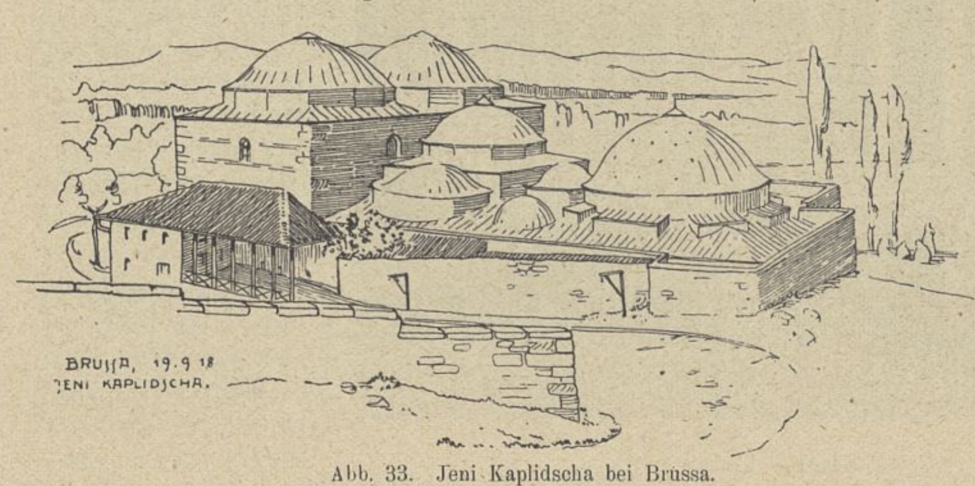


Abb. 33. Jeni Kaplidscha bei Brussa.

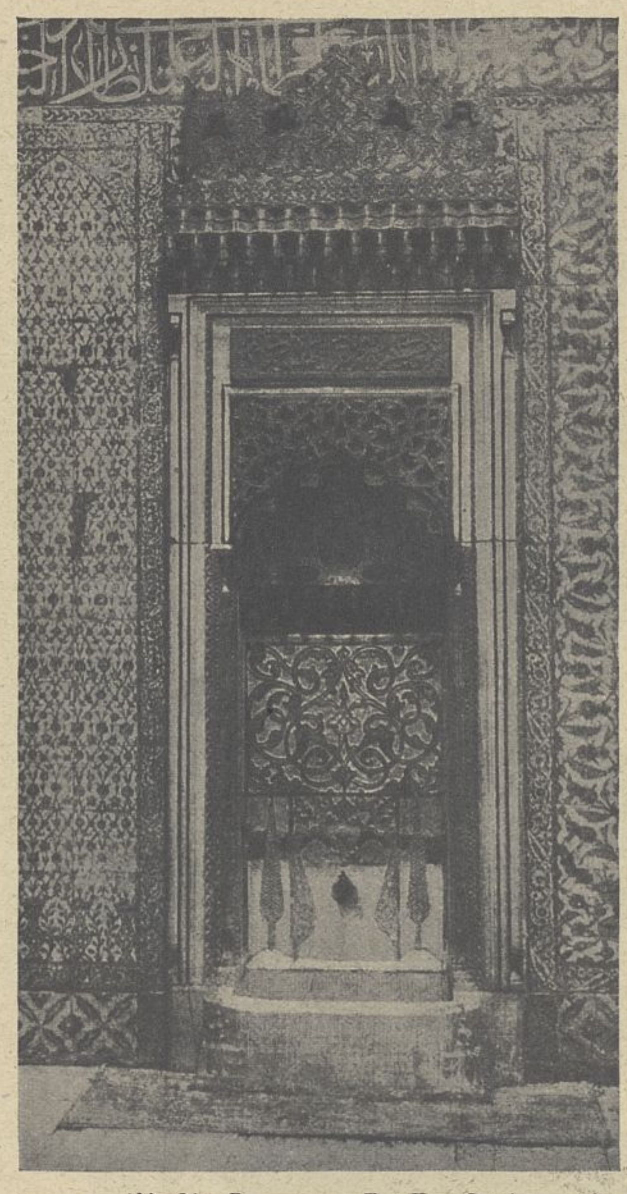


Abb. 34. Brunnen aus Top Kapu Serai (nach Gurlitt, Die Baukunst Konstantinopels).



Abb. 36. Fliesenfeld aus dem Top Kapu Serai (nach Gurlitt, Die Baukunst Konstantinopels).

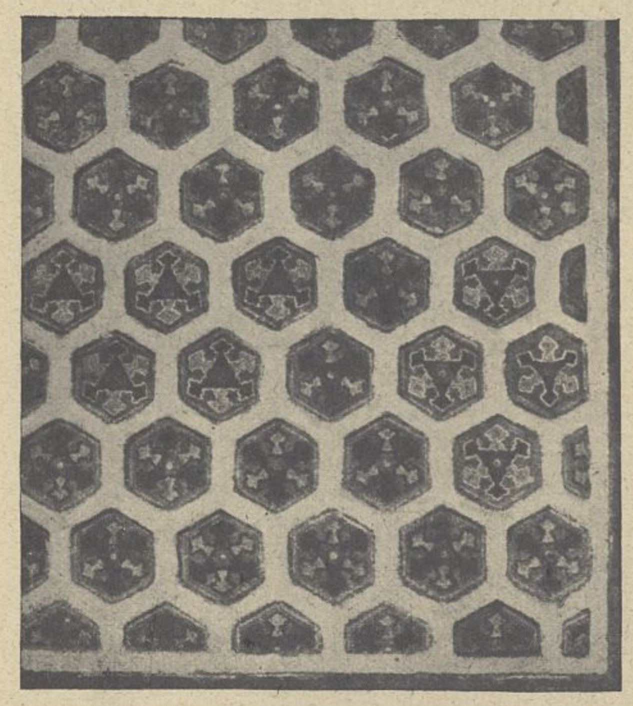


Abb. 35. Fliesenschmuck aus der Türbe Sultan Selims I. in Konstantinopel (nach Gurlitt, Die Baukunst Konstantinopels).

Regelmäßig zeigen sie das bekannte seldschukische Prunkportal. Das berühmteste Beispiel für solche Anlagen ist der Sultan Han (1229) unweit von Konia, ein Bau der mit den reichsten Mitteln errichtet ist und in der Ausschmückung das Vollendetste darstellt, dessen die seldschukische Kunst fähig war (Abb. 7).

Die osmanischen Hane in Brussa und Konstantinopel sind große hallenumgebene Höfe, an die sich ringsherum im Erdgeschoß die Stallungen und Speicher, in einem oder mehreren Obergeschossen die zellenartigen Zimmer der Reisenden anschließen. Meist ohne besondere Schmuckformen sind sie in byzantinischer Mauertechnik ausgeführt. (Abb. 31).

Der ortsheimische Kaufmann und Handwerker hat seinen Verkaufsstand in der Regel in einem der Basare der Stadt. Es sind das entweder überdeckte Flure, an die sich einseitig oder beiderseitig die gewölbten Verkaufsräume anschließen, oder aber Hallenbauten (besestan) in der Art der oben besprochenen gewölbten Hallenmoscheen. Kunstformen fehlen in der Regel vollständig.

Die öffentlichen Bäder der Türken knüpfen an die antiken Thermen oder ihre bescheideneren byzantinischen Abkömmlinge an. Sie bestehen in der Regel aus einem großen Aus- und Ankleideraum, einem Vorwärm- oder Abkühl-



Abb. 37. Ziegel- und Fayencemosaik in der Sirtscheli Medrese in Konia.
(Aufnahme von Berggren.)

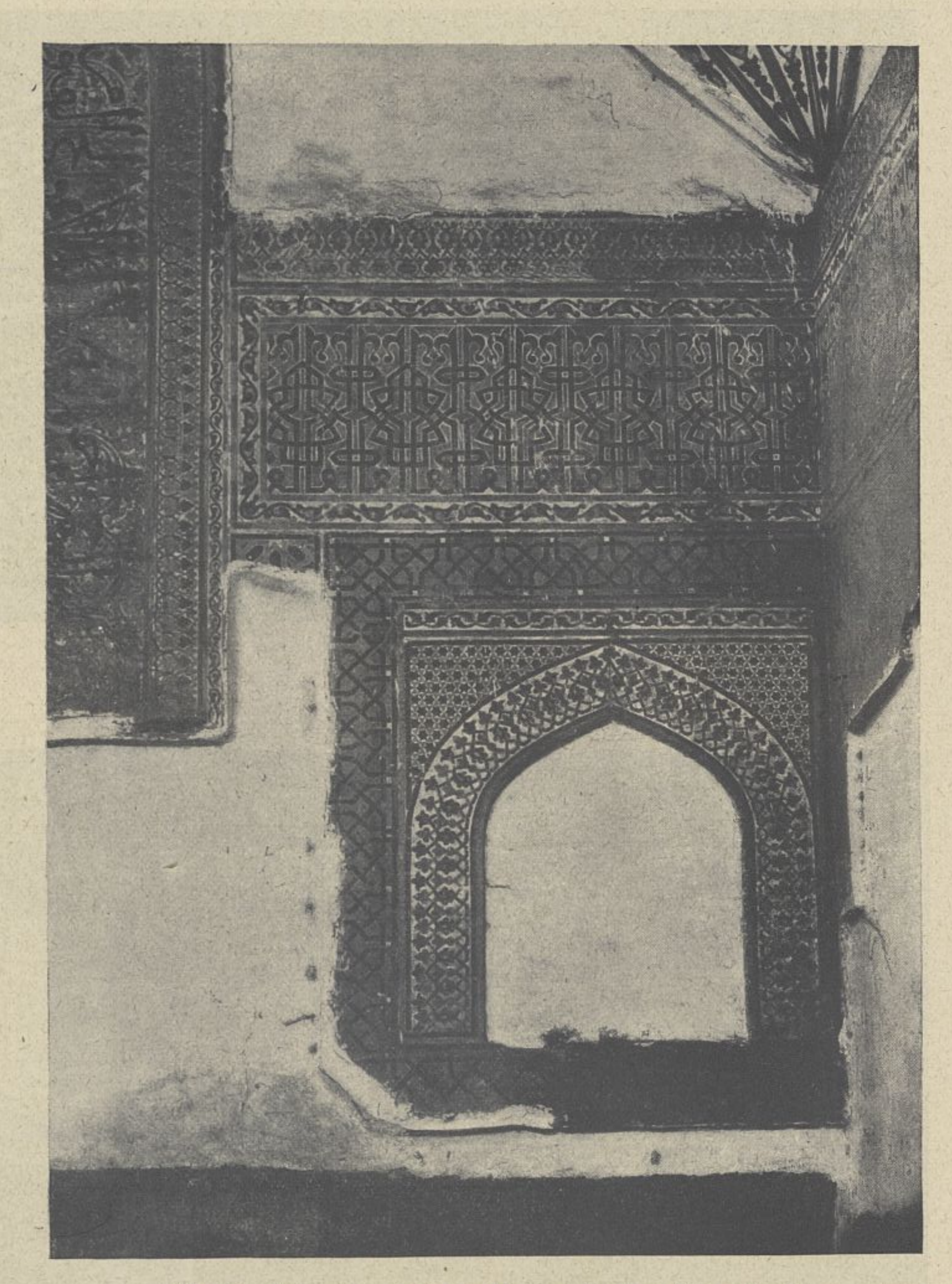


Abb. 38. Fayencemosaik in der Medrese des Kara Tai in Konia.
(Aufnahme von Berggren.)



Abb. 39. Gipsfenster und Fliesenbekleidung in den Nebenräumen der Jeni Walide Moschee in Konstantinopel. (Aufnahme von Sebah u. Joaillier.)

raum und dem Heißbade. Dazu kommen gegebenenfalls noch Schwitz- und Waschräume verschiedener Einzelbestimmung.

Der Zusammenhang zwischen den byzantinischen und türkischen Badeanlagen war in Brussa gegeben. Dort entspringen am Fuße des Olymp zahlreiche heiße Schwefelquellen, die schon zu Römerzeiten hohen Ruf genossen und von Murad I. neu errichtet wurden. Künstlerisch beachtenswert ist das Eski Kaplidscha (altes Warmbad) als ein noch ganz in byzantinischer Weise und mit zahlreichen byzantinischen Bauresten ausgestatteter Bau und das Jeni (= Neu) Kaplidscha (Abb. 33), das in der Zeit der türkischen Kunstblüte (16. Jahrhundert) errichtet

Abb. 40. Tür in der Moschee des Rustem Pascha (nach Gurlitt, Die Baukunst Konstantinopels).

und mit prachtvollen Marmorfußböden und Fayence-Wandbekleidungen geschmückt ist.

Die öffentlichen Brunnen gehören im regenarmen Orient zu den wichtigsten Einrichtungen der allgemeinen Gesundheitspflege und Wohlfahrt und wurden daher meistens als Stiftungen an Moscheen oder an verkehrsreichen Plätzen und Straßen der Stadt errichtet. Dementsprechend entbehren sie auch selten einer reicheren Austattung. Manche gehören geradezu zu den malerischsten und schönsten Bauschöpfungen der türkischen Kunst (Abb. 34) und bieten ein reiches Studienfeld für die Entwicklung des osmanischen Stils und das Eindringen der fremden Formen in die türkische Kunst.

5. Das Kunstgewerbe als Bauschmuck.

Auf einer hohen Stufe der Vollendung haben sich gewisse islamische Kunstgewerbe bis in die Spätzeit hinein gehalten. Sie haben die Überlieferung ihrer orientalischen Heimat länger bewahrt, als es die Baukunst vermochte. Auf ihren meisterhaften Leistungen beruht zum großen Teil der hohe Reiz, den so manche, vor allem intimere Innenräume ausüben. Hier ist es die Kunsttischlerei, die nach altislamischen Mustern auf Türflügeln und Fensterläden, an den Holzkanzeln und Büchergestellen geometrische Band- und Sternmuster aus Profilleisten auf Gehrung zusammenschneidet, mit Füllungen von feingeschnitztem Rankenwerk oder Einlagen von Perlmutter oder Elfenbein (Abb. 40). Dazu kommen die aus bunten Gläsern mosaikartig zusammengesetzten Buntfenster. Sie bestehen in der Regel aus einem äußeren, in einfachen geometrischen Linien geteilten und mit hellem Glase oder Butzenscheiben geschlossenen Fenster und einem mit der Innenflucht der Wand ziemlich bündig sitzenden inneren Buntfenster. Hergestellt sind beide aus Gipsplatten, die man in Holzrahmen gegossen und dann in willkürlicher Weise dem ornamentalen Entwurf entsprechend ausgeschnitten oder ausgebohrt und mit bunten Glasscherben hinterklebt hat. Geometrische Zeichnungen, sodann aber auch Bäume und Blumen sind gleich Teppichmustern darüber ausgebreitet und lassen die lichtgebenden, mattleuchtenden Öffnungen ganz und gar in die Wanddekoration aufgehen (Abb. 39). Später durchbricht man die Gipsplatten mehr und mehr, so daß schließlich nur noch dünne, freigeschwungene Stege übrig bleiben. Solch unkonstruktive Gestaltung veranlaßte dann oftmals, die Stege aus verleimten Holztafeln auszusägen oder gar aus Gußeisen herzustellen. Statt des Glasmosaiks nimmt man

dann größere, meist helle Scheiben zur Verglasung. Lüftungsflügel hatte man aber nicht in den Fenstern.

Während man in der Kunst des Islam auf die byzantinische Mosaikmalerei ganz verzichtete, hat die höchste Vollendung von allen kunstgewerblichen Techniken die Keramik erlangt. Von den Persern hatten die Seldschuken sie schon empfangen und sie zu einer bewundernswerten Höhe entwickelt. Von ihnen übernahmen sie die Osmanen. Die einfachste Verwendung der Glasursteine ist folgende: mit farbigen Ziegeln rechteckigen Formats verblendet man die Außenseiten von Gebäuden und stellt durch Verwendung verschiedener Farben und Stellungen der Steine allerlei reizvolle Muster, Zickzack- und Bandornamente her, die an die Kelims erinnern. Beispiele dafür findet man u. a. in den berühmten Medresen von Konia (Abb. 4 u. 37, an zahlreichen Minarets, an der Jeschil Türbe in Brussa, am Tschinili Kiosk (Abb. 29). Im Inneren der Gebäude verwendet man dagegen meistens kleine Fayencestücke, die man der Vorlage entsprechend aus glasierten Platten zurechtschlägt und in der Art eines feinen Mosaik in Putzflächen einsetzt. So sind u. a. Wand- und Kuppelbekleidungen der Sirtscheli- und Kara-Tai-Medrese in Konia gemacht (Abb. 37 u. 38). Die Farben sind ein tiefes Kobaltblau, leuchtendes Türkisblau, Manganviollet und Schwarz. Dazu kommen die stumpfen weißen Kalkputzflächen. Auch kunstvoll verschlungene Rankenornamente vermag man aus einzelnen sauber zurechtgehauenen Plättchen zusammenzusetzen, sogar die Schmuckschriftbänder, die sich häufig als abschließende oder einrahmende Streifen über oder zwischen einzelnen Wandflächen hinziehen. Eine besondere Technik besteht darin, daß man in einer Fliese einzelne Teile der Glasur auskratzt und dann mit weißem Kalk ausfüllt.

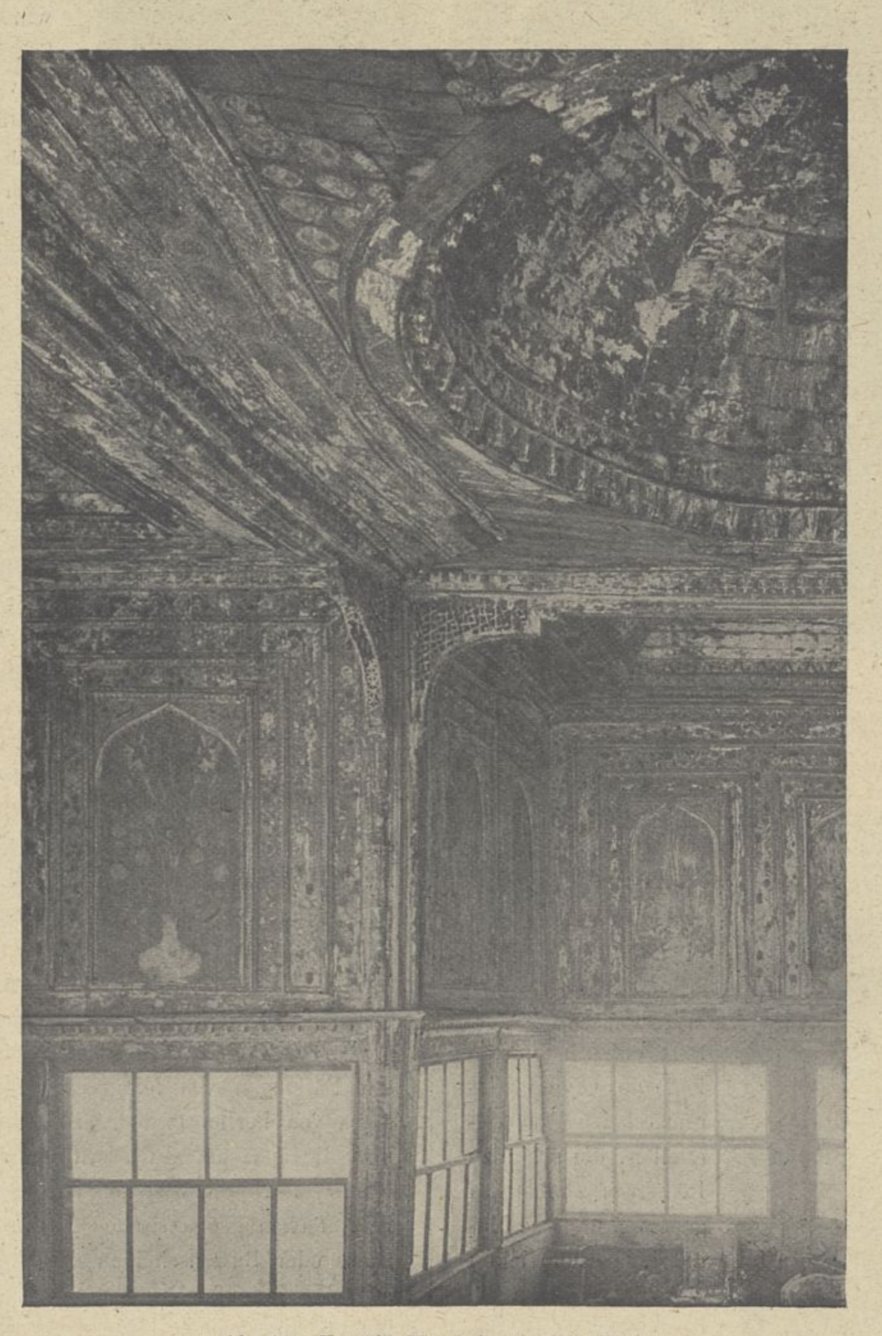


Abb. 41. Köprölü Konak in Anadolu Hissar.
(Aufnahme von Berggren.)

Daneben fängt man an Kacheln zu bemalen, zuerst mit einfachen Schriftzügen blau und weiß. Ein lebhaftes Gelb tritt hinzu, das meistens als Untergrund für spätere Vergoldung dient. Solche Schriftplatten oder mit dekorativen Mustern versehene Fliesen werden dann auch plastisch modelliert. Dieser Art sind u. a. die prächtigen Mihrabumrahmungen und Grabbekleidungen in Konia, in der Jeschil Djami und der Jeschil Türbe in Brussa.

Gleichzeitig fertigt man sechseckige oder anders geformte Wandkacheln, meist in dunkel- und türkisblau. Diese werden häufig nachträglich mit feinem Goldornament bemalt und dann bei geringerer Hitze zum zweitenmal gebrannt. Besonders feine Beispiele dafür in einzelnen Bauten in Brussa und Adrianopel, weniger fein im Tschinili Kiosk. Ob einzelne prachtvolle, mit figürlichen Darstellungen geschmückte Lüsterkacheln, wie sie ehemals an den Palastruinen in Konia zu sehen waren und noch jetzt im Museum des Tschinili Kiosk aufbewahrt werden, als Erzeugnisse des türkischen Kunstgewerbes angesehen werden können, muß bezweifelt werden. Sie werden wohl Importware aus Persien sein.

Einen neuen gewaltigen Aufschwung nahm die türkische Keramik nach der Eroberung von Täbris (1517). Selim I. zwang hunderte der dortigen kunstgeübten Töpfer nach Kleinasien auszuwandern, wo Isnik und Kutahia als Mittelpunkte der türkischen Fliesenindustrie emporblühten. Zwei Hauptarten von Kacheln kamen jetzt in Aufnahme. Die erstere besteht aus etwa 2 cm starken grauweißen Tonplatten, auf denen die Umrisse des Ornaments in schwarzen Strichen vorgezeichnet waren. Diese schwarze Farbe wurde dick mit Zucker angerührt, so daß die Striche ein wenig erhaben standen. Dazwischen füllte man dann die bunten, mit Öl angemachten Farben wie bei der Zellenschmelztechnik ein. Die schwarzen Striche verhinderten, daß die bunten Farben zusammenlaufen konnten (Abb. 35). Sämtliche zur Verwendung kommende Farben waren reine, unvermischte Töne: dunkelblau, türkisblau, grün, gelb, weiß und ein für die türkischen Fayencen

kennzeichnendes Rot, das mitunter ins Karmin oder Rosa geht, meistens aber dem Venetianisch Rot entspricht. Alle diese Farben wurden tief und deckend aufgetragen. Das schreiende Gelb war mitunter für später aufzubringende Vergoldung bestimmt oder wurde mit Goldlinien umrahmt.[6])

Die andere Technik besteht darin, daß man weißglasierte Tonplatten mit leichten, aquarellartig aufgetragenen Farben bemalt. Nur das oben erwähnte türkische Rot ist meistens dick und deckend aufgesetzt. Dann wird die Platte bei geringerer Hitze zum zweitenmal gebrannt. In dieser verhältnismäßig leicht anzuwendenden Technik, die der künstlerischen Erfindung den weitesten Spielraum ließ und ihre Triumphe im 16. Jahrhundert feierte, hat man die reizvollsten Blumen und Ornamente, ja ganze Wandgemälde pflanzlich-dekorativer Art hergestellt, wie sie an Schönheit niemals übertroffen worden sind (z. B. in der Rustem Pascha Djami, im Top Kapu Serai usw., Abb. 36).

Von der türkischen Wandmalerei ist aus älterer Zeit leider sehr wenig erhalten. In einigen Moscheen und Türben, auch wohl in Privatgebäuden (Köprülü Konak in Anadolu Hissar, Abb. 41) findet man Ornamente auf Holz gemalt, die noch an die im Fliesendekor gepflegten erinnern. Hier erwächst der Denkmalpflege eine bisher noch kaum in Angriff genommene Aufgabe der Sammlung und Erhaltung. In den meisten Monumentalgebäuden ist die alte Dekoration durch geschmacklose Rokokomalereien des 18. Jahrhunderts, auf weißem Grunde schwarze Ornamente, die ganz aus dem Maßstabe der sonstigen zierlichen Dekorationsweise herausfallen, übertüncht. Dagegen findet man stellenweise an Holzdecken noch alte Lackmalereien, die ebenso wie die Fliesenmuster auf indische oder ostasiatische Vorbilder hinweisen (z. B. chinesische sog. Wolkenbänder). Anderseits hat man Holzdecken durch feine aufgenagelte Leisten in geometrische Felder und Sterne geteilt und dann verschiedenfarbig bemalt (Untersicht des Vorhallendaches der Türbe Murads II. in Brussa).

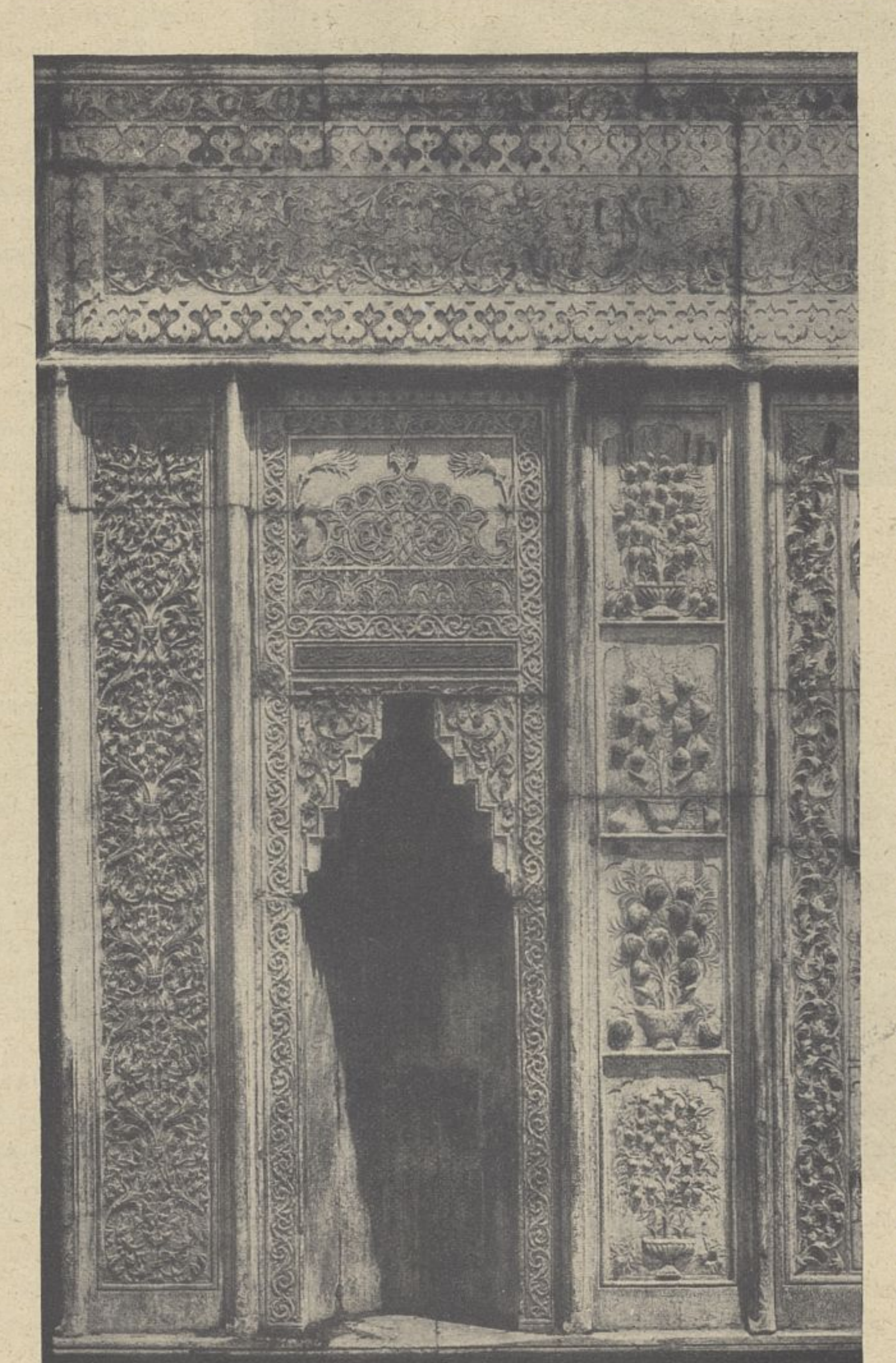


Abb. 42. Einzelheit vom Brunnen Achmeds III. beim Top Hane
(nach Gurlitt, Die Baukunst Konstantinopels).

Die anderen Kunsthandwerke spielen eine geringere Rolle im Bau. Zu erwähnen sind die Gitter aus gedrehten Holzstäben, die man vielfach in Eisen oder gar in Bronze nachgebildet hat. Mitunter sind solche gekreuzte Eisenstäbe oder die an den Kreuzungspunkten zwischengesetzten Würfel kunstvoll mit Silber tauschiert (z. B. in der Jeschil Djami in Brussa).

6. Der Verfall der türkischen Kunst.

Der gewaltige Eindruck, den die Bauten des 16. Jahrhunderts machen, beruht, wie wir auseinandersetzten, in erster Linie auf den großartigen Raumbildungen, auf den kühnen Gewölbekonstruktionen, die wir als eine Renaissance griechisch-byzantinischen Geistes bezeichneten. An die islamische Bauweise erinnern nur noch die Einzelheiten, die aber mit dem Bauwerk als solchem wenig zu tun haben, ihm mitunter willkürlich hinzugefügt erscheinen, nur verstandesmäßig alten Vorbildern nachgeahmt, nicht recht empfunden sind. Die türkische Baukunst hatte den Zusammenhang mit der großen islamischen Kunstbewegung verloren. Von ihrer Wurzel losgelöst mußte sie daher über kurz oder lang verdorren.

Nachdem im 17. Jahrhundert ein gewisser Stillstand eingetreten war, begann dieser Verfall mit Beginn des 18. Jahrhunderts mit Riesenschritten. Gleichzeitig mit dem politischen Rückgang der Osmanenmacht drängte die europäische Kultur und Kunst nach; die italienische Spätrenaissance hielt

---

6) Das Gelb muß wohl im Brande besonders schwer zu behandeln gewesen sein, denn es ist mitunter, im Gegensatz zu den anderen Farben, über den schwarzen Kontur hinweggetreten und in die Nachbarfarben hineingeflossen.



Abb. 43. Hof der Nuri Osmanie Moschee
(nach Gurlitt, Die Baukunst Konstantinopels).



Abb. 44. Dolma Bagtsche Serai, Portal.

ihren Einzug in Konstantinopel. Mit ihrer Hilfe versuchte man die altersschwach gewordene türkische Kunst neu zu beleben. So entstanden gewisse Mischstile, die, wenn sie auch nicht voll befriedigende Erfolge gezeitigt haben, doch durch kühnes Wollen und in dekorativer Hinsicht bedeutendes Können, beachtenswerte Leistungen hervorgebracht haben.

Zuerst findet man malerische Bauwerke mit reizendem, naturalistisch behandelten Blumenornament, so z. B. die üppigen Brunnenbauten Achmeds III. (1703—1730) an der Hagia Sofia und bei dem Top Hane (Abb. 42). Dann zwei großartige Moscheen, die vom römischen Barock beeinflußt erscheinen: die Nuri Osmanie (1748—54) ist ein Werk kühnster Kuppelkonstruktion mit einem halbrunden Vorhof von erhabener Raumwirkung (Abb. 43). Bemerkenswert ist das Streben des Baumeisters, alle, auch die ausgesprochen islamischen Bauformen in die italienische Formensprache zu übersetzen, so z. B. nicht nur die Minarette, sondern sogar die Prunkportale mit den Stalaktitennischen. Ähnlicher Bildung ist die 1763 vollendete Laleli Djami (= Tulpenmoschee).

Vollständig zur Herrschaft gekommen ist der europäische Stil im 19. Jahrhundert, aber ein Stil, wie man die europäische Kultur in der Levante so oft auftreten sieht, überladen, schwülstig, unwahr. Wir nennen nur die Moschee Mahmuds II. (1830) beim Top Hane und die immerhin erfreulicher wirkende Türbe desselben Herrschers († 1839); sodann die am Bosporus errichteten neuen Paläste der Sultane: Tschiragan-, Beiler Bei- und Dolma Bagtsche Serai (Abb. 44) durch deren langgestreckte reiche Marmorfassaden die Ufer ein europäisches Ansehen bekommen haben.

Damit ist die türkische Baukunst abgeschlossen. Ob und inwieweit den modernen Versuchen, die alttürkische Bauweise wieder neu zu beleben, Erfolge beschieden sein werden, muß die Zukunft lehren.

Eine Alt-Nürnberger Hofarchitektur.

Vom städt. Oberingenieur K. Böllinger und städt. Baumeister L. Häffner.

(Mit Abbildungen auf Blatt 19 und 20 im Atlas.)



Abb. 1. Blick vom Weinmarkt auf die St. Sebalduskirche.

Der Stadtteil um den Westchor der St. Sebalduskirche in Nürnberg, dort wo sich die Winklerstraße, Schustergasse, der Weinmarkt und der Albrecht-Dürer-Platz (d. i. der alte „Milchmarkt") treffen und ineinander übergehen, bietet eines der schönsten Bilder mittelalterlichen Städtebaues (Text-Abb. 2). Die Führung der Straßen bringt es mit sich, daß die St. Sebalduskirche, oder doch wenigstens wesentliche beherrschende Teile, immer im Gesichtsfeld des Beschauers liegen. Kommt man vom Weinmarkt her, so sieht man die Kirche auf einer Terrasse, der Chor und die Türme schließen den nach dorthin sich verengernden Platz wirkungsvoll ab (Text-Abb. 1). Richtet man den Blick von der Winklerstraße nach Norden, so schieben sich Chor und Türme seitlich aus den Häusern in das Bild herein, nach dem Hintergrunde zu bauen sich in malerischer Weise die Häuser des Weinmarktes und Albrecht-Dürer-Platzes auf dem zur Burg ansteigenden Gelände auf. Hohe Dächer und Giebel überragen sich gegenseitig, als oberer Abschluß werden Teile der Burg und der sog. Heidenturm sichtbar; bei Morgen- und Abendbeleuchtung, wenn die Türme der Kirche und die roten Ziegeldächer goldenwarm beleuchtet sind, während sich Platz und Häuser im Schatten befinden, oftmals ein überaus fesselndes und anmutiges Bild. Nicht weniger fesselnd ist der Blick in die Winklerstraße oder gegen das Schulgäßlein oder den Rathausplatz hin. Mit jedem Schritt ändert sich das Bild, bald tritt ein Haus zurück, ein anderes wird sichtbar und schiebt sich vor, ein Giebel, ein hohes Dach erscheint, von dem man vorher nichts sah, und alles zusammen wirkt harmonisch und ist noch ursprünglich.

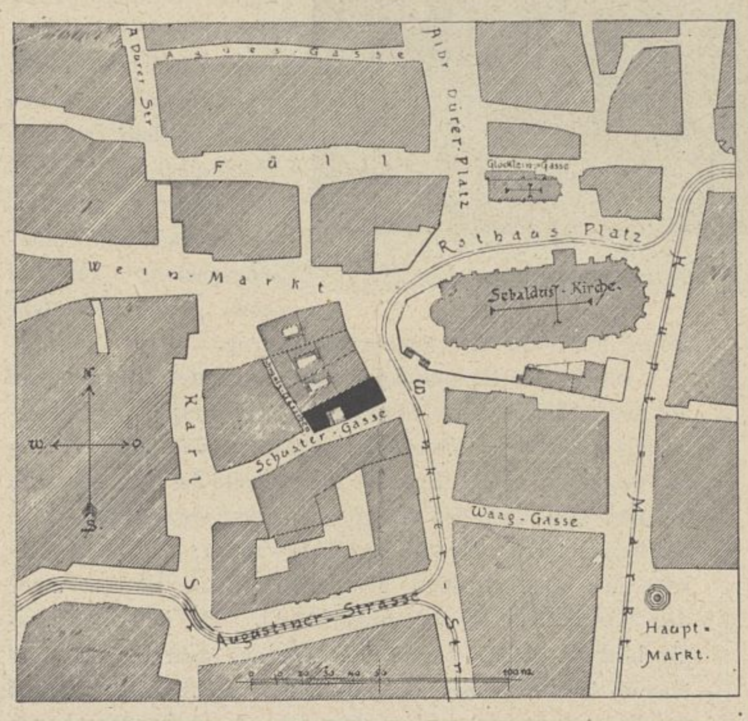


Abb 2. Lageplan.

Die Häuser, die dort ringsum stehen, gehörten zumeist einst Patriziern und wohlhabenden Bürgern und haben teilweise ihre Geschichte. Vielfach sind sie trotz stattlicher Größe äußerlich ohne Schmuck, höchstens zeigen sie einen reicheren Giebel, ein Ecktürmchen, reichere Dacherker oder ein Chörchen (Erkerausbau in der Fassade), eine geschnitzte Haustür mit kunstvoll geschmiedetem Oberlichtgitter. Dafür bergen sie aber im Innern noch manche Perle Alt-Nürnberger Kunst- und Gewerbefleißes, wie schöne Treppenaufgänge, prachtvolle Holz- und Stuckdecken, Wandvertäfelungen, Türbänder, Schlüsselschilder usw., nicht zuletzt malerische und künstlerisch wertvolle Hofarchitekturen. Oft sind es verhältnismäßig recht kleine Höfchen, die man heute mehr als Lichthöfe erachten würde, auf deren kunstvolle Ausgestaltung man in vergangener Zeit Bedacht nahm, dem damaligen Bestreben entsprechend, den Hauptwert auf ein behaglich und schön ausgestattetes Inneres der Wohnhäuser zu ver-

legen und dessen Äußeres einfach, aber trotzdem würdig, manchmal auch trutzig in die Erscheinung treten zu lassen.

Ein Beispiel hierfür bietet das Haus Winklerstraße Nr. 31 an der Ecke der Schustergasse. Äußerlich wohl ein stattlicher Sandsteinquaderbau, weist es doch keinerlei besonderen Schmuck auf. Die Fenster der drei Obergeschosse sind mit den für die Alt-Nürnberger Stilweise kennzeichnenden einspringenden Profilen umrahmt (Text-Abb. 3). Über dem Hauptgesims steht ein hohes steiles Dach, gegen die Schustergasse hin ein mächtiger einfacher Giebel, an dessen Außenseite ein Kamin hochgeführt ist. Auf der Seite gegen die Sebalduskirche sitzt über der Steinfassade ein Holzerker in Renaissanceformen, der allerdings nicht mehr der ursprüngliche, sondern eine genaue Nachbildung des erstmaligen zierlichen, aus Stein hergestellten ist. Letzterer war infolge starker Verwitterung baufällig geworden und mußte vor mehreren Jahren abgetragen werden. Wie so manches alte Haus in Nürnberg trägt auch dieses ein Hauszeichen; hier ist es eine in Stein gehauene, vergoldete Lilie, deren Bedeutung zurzeit nicht bekannt ist.

Die Verkaufsläden im Erdgeschoß an der Winklerstraße sind erst in den achtziger Jahren des 19. Jahrhunderts entstanden.

Westlich schließt ein kleiner Hof an, an der Schustergasse anliegend, von einem Hinterhaus und einem Verbindungsflügel zwischen diesem und dem Vorderhaus umschlossen (Abb. 1 Bl. 19).



Abb. 3. Haus Winklerstraße 31.

Die ebenerdigen kreuzgewölbten Räume im Hinterhause lassen auf ein Alt-Nürnberger Handlungshaus schließen, dem dieser Raum als Lager diente. Von der üblichen Anlage dieser Kaufmannshäuser, im Erdgeschoß große Halle, Schreibstube, Einfahrt usw., ist nichts mehr zu sehen. Diese wurde bei dem Einbau der jetzigen Haupttreppe und der Einrichtung von Läden in der Mitte des 19. Jahrhunderts beseitigt. Drei mächtige profilierte Unterzüge aus Holz, von Säulen in der Mitte getragen, überspannen das Erdgeschoß und tragen die Balkendecke des ersten Stockes. Daraus ist noch das frühere Vorhandensein der Halle zu erkennen. Solche Hallen hatten fast alle Alt-Nürnberger Kaufmannshäuser, teils wiesen sie Holzbalkendecken auf, teils waren sie eingewölbt und dienten dem Verkehr mit den ankommenden und abgehenden Gütern, weshalb sich meist auch eine große Wage dort befand. In der Mitte der Umfassungswand an der Schustergasse stand nach den Angaben eines hiesigen namhaften Baumeisters, der in den achtziger Jahren des abgelaufenen Jahrhunderts bei dem Umbau tätig war, die steinerne Haupttreppe in schönen Renaissanceformen. — Unter dem Erdgeschoß liegt der heute noch vollständig erhaltene große Keller, mit einer einzigen mächtigen Tonne aus Sandsteinbruchstücken in der Richtung Ost-West überwölbt. Als Unterstützung der vorhin erwähnten Säulen der Halle im Erdgeschoß stehen im Keller eine runde Steinsäule von 50 cm Durchmesser mit einfachem Kapitell und Basis, sowie ein Steinpfeiler, beide bis unter die Wölbung ragend. Der Keller greift, wie in vielen solchen Häusern, einige Meter weit über die Hauswand unter die öffentliche Straße hinaus. Wie damals allgemein üblich, war der Keller von der Straße aus durch eine in der Hauswand liegende sog. Schrottür und der hinter dieser liegenden Schrottreppe zugänglich. Auf dieser wurden mittels Seilen und Windevorrichtung die schweren Fässer und Güter, die unten eingelagert wurden, hinab geschafft. Die Treppenanlage bedingte wegen der Überwölbung einen sog. Kellerhals, der im Erdgeschoß als Mauerwerkskörper sichtbar wurde und mit Umfassungsmauern versehen oben gewöhnlich eine kleine Plattform mit Steinbrüstung trug.

Die in der Hauptsache mit Ausnahme des Erdgeschosses auf unsere Zeit überkommene äußere Gestaltung dieser Häusergruppe scheint im ersten Drittel des 16. Jahrhunderts entstanden zu sein. Im Hofe an der Ostseite des Rückgebäudes befindet sich über den Gangfenstern des ersten Stockes die Jahreszahl 1519 über einem Allianzwappen, an der Straßenseite über dem mittleren Fenster des dritten Stockes unter dem Dacherker die Jahreszahl 1525. Es ist nicht ausgeschlossen, daß die ganze Anlage aus dem Umbau eines älteren Anwesens hervorgegangen ist. Hierbei ist vielleicht das Vorderhaus, das vorher entsprechend den Gepflogenheiten

des 15. und 16. Jahrhunderts im Erdgeschoß und ersten Stock Sandsteinumfassungen und darüber Geschosse mit ausgemauerten Fachwerksumfassungen hatte, erhöht oder umgeändert worden. Dieser Schluß erscheint auch zulässig aus der Art der Profilierung der Fensterumrahmungen. Im ersten Stock zeigen diese rein gotisches Profil mit hervortretenden Rundstäben, im zweiten und dritten Stock dagegen nur Hohlkehlen mit kleinen Plättchen.

Nach den in der Stadtbibliothek in Nürnberg befindlichen Gerichtsbüchern der Reichsstadt Nürnberg, Abteilung libri literarum l. 9. 231, kaufte Heinrich Flick von Fritz Engels Erben am 8. Januar 1494 am Weinmarkt am Eck an der Schustergasse ein Haus, dessen Standort mit dem des jetzigen Winklerstraße Nr. 31 sich deckt.

Die „Flicken“ stammen aus der alten Stadt Isny in Württemberg, von 1635 bis 1803 freie Reichsstadt. Ein im Jahre 1450 dortselbst verstorbener Georg Flick hatte zwei Söhne, Peter und Heinrich. Letzterer kam nach Nürnberg und verheiratete sich 1469 daselbst; er muß vor 1509 gestorben sein, da zu dieser Zeit ein Michel Flick als Vormund der Kinder des Heinrich Flick in Urkunden vorkommt. Sein Sohn Barthel Flicken hat sich mit Barbara Oertel 1512 verheiratet und war Bürger und Kaufmann von Nürnberg, von 1512 bis 1535 auch „Genannter des größeren Rats“. Dieser Barthel Flick hat nun aller Wahrscheinlichkeit nach das von seinem Vater erworbene Haus in den Jahren 1519 bis 1525 umbauen lassen. Im Hofe ließ er unter der Jahreszahl 1519 sein Wappen (einen Flügel-Flicken) und das seiner Frau, das Oertelsche Wappen, nebeneinander anbringen (Abb. 2 Bl. 19 u. Text-Abb. 4). Die Oertel waren ein gerichtsfähiges und ehrbares Geschlecht.

Abb. 4. Hofansicht. (K. Böllinger, aufgen. u. gez. 1916.)

Von dem damaligen Zustand kam ziemlich unverändert nur noch die Hofarchitektur auf die heutige Zeit. Sie stellt eine der schönsten Leistungen Alt-Nürnbergischer Bauweise dar und hat jedenfalls einen der tüchtigsten Steinmetzmeister zum Verfasser. Wenngleich zu jener Zeit in Nürnberg die Renaissance bereits ihren Eingang gefunden hatte, so saß doch die gotische Kunstübung so fest, daß sie noch lange neben jener und gemischt mit ihr in Einzelformen und im ganzen Aufbau vorkommt. Das gotische Maßwerk war fast bis in das 18. Jahrhundert bei den Bauhandwerkern im Gebrauch. Durch diese Stilvermengung sind vielfach ganz reizvolle Architekturen entstanden.

Der Hof bildet ein etwas verschobenes Viereck und mißt ungefähr 5,5 auf 6,5 m (Abb. 1 Bl. 19). Die Südwand ist die Abschlußmauer gegen die Schustergasse, die Ostwand bildet die Umfassungsmauer des Vorderhauses, während an der Nord- und Westseite Bogenstellungen mit Hofgalerien den Abschluß bilden.

In der Südwestecke des Hofes steht ein im Grundriß länglich viereckiger Einbau aus Sandsteinquadern, der bis zum ersten Stockwerk reicht und eine Waschküche enthält, offenbar eine Zutat aus späterer Zeit. Bei dessen Errichtung wurde der Durchfahrtsbogen in der westlichen Wand seines Widerlagers beraubt, weshalb sich die Gewölbsteine, sowie das darüberliegende Mauerwerk gesenkt haben. Die auf den genannten Bogen ruhende Galerie zeigt eine Bogenstellung mit zwei Rundsäulen (Abb. 2 Bl. 19 u. Text-Abb. 4), die Bogen haben ein feines einspringendes Profil und schneiden sich an die Säulen an. Unter dem Profilanschnitt legen sich im Achteck durchkreuzende Rundstäbe an (Abb. 6 Bl. 20). Die steinere



Abb. 5. Gang im ersten Stock. (K. Böllinger, aufgen. u. gez. 1917.)

Brüstung zwischen den Säulen enthält ein schön gearbeitetes gotisches Maßwerk. Vermutlich setzte sich über der Bogenstellung ursprünglich ein Pultdach auf, die jetzige Hofgalerie mit Holzmaßwerk in den Füllungen ist erst in den achtziger Jahren des abgelaufenen Jahrhunderts aufgesetzt worden und kommt in ihrem künstlerischen Wert nicht entfernt an die untere heran.

An der Nordseite besteht die Bogenstellung im Erdgeschoß aus einer kräftigen Rundsäule mit einem Segmentbogen auf der linken Seite und einem halben Segmentbogen rechts, der vom Scheitel ab gegen die östliche Hauswand mit wagerechter Leibung verläuft (Abb. 4 Bl. 19 u. Text-Abb. 4).

Über der Bogenstellung sitzt auch hier eine Galerie mit Steinmaßwerkbrüstung und mit schlanken Rundsäulen; diese tragen jedoch nicht Bögen, sondern sind mit einem wagerechten profilierten Holzbalken überdeckt, als Auflager für die Galerie im zweiten Stock. Es scheint sich schon bald das Bedürfnis geltend gemacht zu haben, diese offenen Galerien durch Fenster zu schließen. Bei der Westgalerie sind die Fenster zwischen die Bögen eingesetzt, bei der nördlichen ist oberhalb der Brüstung eine Holzarchitektur mit kanellierten Säulen und dorischen Kapitellchen der ursprünglichen Architektur vorgestellt, der Stilweise nach Frührenaissance und wahrscheinlich bald nach der Erbauung des Hofes angebracht (1525?). Die Hofgalerien setzen sich im zweiten und dritten Stock fort, und zwar in Holz, in den Brüstungen des zweiten Stockes Holzmaßwerke, in denjenigen des dritten Stockes Baluster, eine für viele Nürnberger Höfe eigentümliche Ausführungsart. — An der Umfassungsmauer des Hofes gegen die Straße befand sich ein Brunnen mit Steintrog und eine Wandnische zur Aufnahme einer kleinen Brunnenfigur (Abb. 2 u. 3 Bl. 19), welch letztere, wie so viele ähnliche seit langem verschwunden ist.

Eine Eigentümlichkeit bildet die Anlage eines Balkons auf Kragsteinen in der Höhe des ersten Stockes hinter der südlichen Hofmauer entlang der Schustergasse. Der Balkon steht in Verbindung mit der westlichen Hofgalerie, und man konnte alle Vorgänge auf der Straße beobachten, ohne selbst viel gesehen zu werden (Abb. 2 und 3 Bl. 19). Nach den noch vorhandenen Ansatzstücken an der einen Säule der westlichen Hofgalerie war die Balkonbrüstung als Steinmaßwerk ausgebildet, die jetzt durch ein eigenartiges Eisengitter aus späterer Zeit ersetzt ist. Die Mauerbrüstung gegen die Straße hin dient zum Aufstellen von Blumen, die nicht wenig zum Schmuck der engen und von hohen Häusern umschlossenen Straße beitragen.

Hinter dem Durchfahrtsbogen der Westwand des Hofes ist ein zierlich profilierter steigender Sandsteinbogen sichtbar (Abb. 2 Bl. 19 und Text-Abb. 4), der eine schmale Treppe aus Stein trägt, als Fortsetzung der vom Hofe aus an der Nordseite mit der Steinsäule der Bogenstellung als Antrittspfosten beginnenden Treppe. Der Stichbogen lehnt sich gegen eine steinere Dreiviertelsäule auf dem Ruheplatz zwischen den beiden Treppenläufen (Abb. 3 bis 5 Bl. 20). Das Fenster, das diesem Treppenabsatz vom Hofe aus Licht zuführt, ist leider jetzt im Innern vermauert.

Reizvoll ist auch der Blick in die westliche Hofgalerie des ersten Stockes im Innern (Text-Abb. 5). Links die Bogenstellung, an der Decke ein Steinmaßwerk in große Sandsteinplatten eingemeißelt; an der rechtseitigen Gangwand oben ein schöner gotischer Bogenfries (geometrische Ansicht s. Abb. 8 Bl. 20). Die Verbindung zum Hinterhaus vermitteln zwei Türöffnungen mit Steinprofilierung.

Im Innern des Vorder- sowie des Hinterhauses hat sich leider nichts mehr von der alten Ausgestaltung erhalten.

Die auf einem kleinen Raum hier zusammengedrängte mittelalterliche Steinarchitektur des Hofes ist eine Perle der damaligen eigenartigen nürnbergischen Stilweise und hat einen tüchtigen Meister zum Urheber. Die für den Nürnberger grobkörnigen Sandstein verhältnismäßig feingeschnittenen Profile an den Bogen uud Gurten, die Kreuzungen und Überschneidungen von Rundstäben, die Grundform sowohl wie Ausführung der Maßwerke u. a. m. verweisen auf den Einfluß des Ratsbaumeisters Hans Behaim d. Ä., dem Nürnberg so viele schöne Bauwerke verdankt (Laubenbau am Rathaus, Mauthalle, Waggebäude, Kaiserstallung usw.). An der Steinbrüstung der oben erwähnten vom Hofe sich antretenden Treppe befindet sich ungefähr in der Mitte in einem Maßwerk ein Steinmetzzeichen [Steinmetzzeichen]. Wer dies führte, ist nicht bekannt; da sonst kein weiteres vorkommt, darf wohl angenommen werden, daß es dem Erbauer angehört.

Leider weist das Mauerwerk des Hofes infolge von Setzungen und Verwitterungen starke Schäden auf und wird, wenn nicht bald eine durchgreifende Ausbesserung einsetzt, mit der Zeit dem Untergang verfallen, wie schon manches andere Glanzstück Alt-Nürnbergischer Baukunst.

Die vorkarolingische Basilika St. Emmeram in Regensburg

und ihre baulichen Änderungen im ersten Halbjahrtausend ihres Bestandes (740 bis 1200).

Vom Regierungsbaumeister Dr.=Ing. Franz Schwäbl in München.

(Mit Abbildungen auf Blatt 3 bis 6 im Atlas.)

(Schluß.)

V. Die Kirche St. Emmeram und die Hirsauer Schule.

1. Allgemeines:

Die strenge Reform Papst Gregors VII. fand in Deutschland die mächtigste Stütze im Kloster Hirsau in Schwaben und in der von diesem Kloster über ganz Deutschland verbreiteten Hirsauer Schule. Die Tätigkeit dieser Bewegung umfaßt den Ausbau bestehender wie die Gründung neuer Klöster bei einem streng geregelten Leben der Mönche nach „constitutiones Hirsaugienses", Vorschriften, die im Mutterkloster in engem Anschluß an Cluny aufgestellt worden waren. Die besondere Bedeutung dieser Hirsauer Klöster für die Kunstgeschichte besteht darin, daß mit ihrer Regel auch eine in wesentlichen Punkten ganz bestimmte Kirchenbauweise über ganz Deutschland verbreitet wurde; diese Bauschule, die „Hirsauer Schule" in engerem Sinne, ist das erste Beispiel einer beabsichtigten steten Beibehaltung einer Reihe grundlegender Baugedanken; sie ist die älteste Bau-„Schule" in Deutschland überhaupt und wurde von Dehio und v. Bezold auch als das älteste Beispiel umfassenden französischen Einflusses auf die deutsche Kunstentwicklung betrachtet (Dehio und v. Bezold, B. I, S. 212). Wie man die Hirsauer Klosterregel überwiegend auf das burgundische Cluny, das beherrschende Reformkloster des Abendlandes zurückgeführt hat, so hat man auch Cluny als die ausschließliche Heimat der Hirsauer Kirchenbauweise betrachtet, zumindest in ihren Grundzügen. Das kann in solchem Maße künftig nicht mehr gelten. Wilhelm von Hirsau, jener große Abt, der das kleine Kloster in Schwaben zu der geschilderten, überragenden Bedeutung hob, war ein Bayer. Er war schon als Knabe ins Kloster St. Emmeram in Regensburg gekommen, hatte dort seine Erziehung genossen und war bis zum Prior aufgerückt, ehe er als Abt nach Hirsau berufen wurde. Wir werden noch eingehend auf seine Bedeutung und Parteistellung im Kloster St. Emmeram zurückkommen; hier heben wir hervor: Wilhelm war dort Augenzeuge der Umbauten Reginwards. Er kannte ebenso dessen vollendetes Werk, wie er den früheren Zustand von Jugend auf gewohnt gewesen war.

2. Ähnlichkeit der Kirche St. Emmeram vor der Bauvornahme Reginwards mit der Kirchenart der Hirsauer Schule.

Die Stufe der baulichen Entwicklung St. Emmerams vor dem Umbau Reginwards zeigt in vieler Hinsicht Verwandtschaft mit der Kirchenart der Hirsauer. Als Musterbild innerhalb dieser Schule selbst muß das Münster St. Peter und St. Paul zu Hirsau betrachtet werden, diese große, unter Abt Wilhelm im Jahre 1082 begonnene und kurz vor seinem Tode im Jahre 1091 geweihte Klosterkirche. Seit der Zerstörung durch die Franzosen im Jahre 1692 liegt zwar St. Peter in Trümmern, immerhin geben die Reste noch ein ziemlich vollständiges Bild (Text-Abb. 38). Zuletzt und soweit ich sehe, am eingehendsten hat Mettler die an dieser Kirche nachweisbaren Kennzeichen der Hirsauer Schule und gleichzeitig das Verhältnis dieser Schule zur Kirche des Majolus in Cluny (geweiht im Jahre 981) zusammengefaßt. Er schreibt[132]): „Die positiven und negativen Merkmale des kluniazensischen Großmünsters, wie sie sich zur Zeit, da Wilhelm von Hirsau mit Cluny bekannt wurde, herausgebildet hatten, sind folgende:

1. Basilika ohne Westchor, aber mit Querschiff und östlichem Altarhaus, also in der Form des lateinischen Kreuzes.

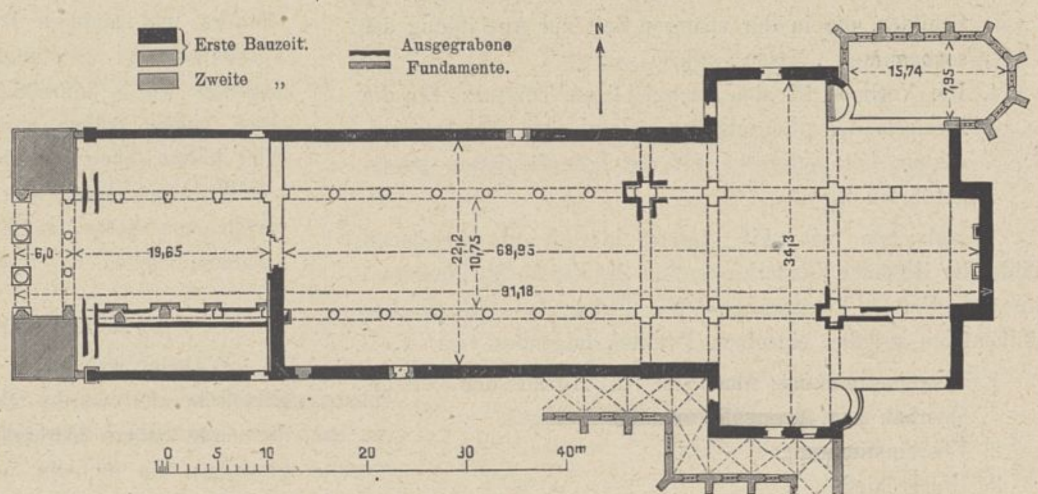


Abb. 38. St. Peter in Hirsau.

2. Dreischiffige Anlage des östlich vom Querschiff liegenden Teiles: Der Hauptraum mit dem großen Altar ist von Abseiten (Nebenchören), in denen je ein Nebenaltar steht, begleitet.
3. Am Ostende des Hauptaltarhauses ein Raum für Aufstellung von drei weiteren Nebenaltären.
4. Sakristei neben der nördlichen Abseite des Altarhauses.
5. Keine Krypta.
6. In jedem Querflügel eine Altarstelle in eigener Apsis.
7. Über dem mit der Vierung sich deckenden „großen Chor" ein Glockenstuhl bzw. Vierungsturm.
8. Unmittelbar westlich von der Vierung im Langhaus der „kleine Chor".
9. Westlich vom Langhaus ein großer Vorhof.
10. Am Westende des Vorhofes ein Turmpaar.

132) A. Mettler, Die beiden romanischen Münster in Hirsau und verwandte Kirchenbauten in Württemberg. Württembergische Vierteljahrshefte für Landesgeschichte, XXIV. Jahrg. 1915, S. 93.

Diese zehn Stücke hat Wilhelm mit der einzigen Ausnahme des Vierungsturmes alle in das Bauprogramm von St. Peter aufgenommen"[133]).

Nach Mettler umfassen diese entscheidenden Punkte alles, was am Cluny „typisch und eigenartig" war, soweit es mit der kirchlichen Verwendung des Gebäudes zusammenhing, nämlich „die nach Zahl, Art und Zusammenstellung der einzelnen Teile und Räume fest bestimmte Anlage" (S. 93). Darüber hinaus, also hinsichtlich der konstruktiven Grundsätze und der Kunstformen habe Cluny den Tochterabteien anscheinend freie Hand gelassen. Diese Erklärung gibt gleichzeitig die neue Frage auf, woher dann jene anderen Eigentümlichkeiten stammen, die von Cluny nicht vorgeschrieben waren, die aber doch mit großer Treue von den Hirsauern wiederholt und fortgebildet wurden. Solche weitere Merkmale sind:

11. Die Osttürme über den ersten, westlich ans Querschiff angrenzenden Seitenschiffjochen; in späterer Zeit rückt das Turmpaar häufig in die Achselstellung östlich des Querschiffes vor.
12. Die steilen Verhältnisse des Querschnittes und der Arkaden.
13. Die Vorliebe für die Säule und zwar im Verein mit dem Hirsauer Würfelkapitell. Dessen Hauptkennzeichen ist die halbkreisförmige, abgestufte Umrahmung der Schilder, die in der späteren Zeit zur Ausbildung der sogenannten „Nasen" führt.
14. Die Vorliebe für den flachgiebligen Türsturz, für die Zierform des „Schachbrettmusters", für ein Arkadengesims mit senkrecht auf die Kämpferplatten herabgeführten Streifen.

Vergleichen wir mit diesem hiermit umschriebenen Bilde der Hirsauer Klosterkirche nun die Kirche St. Emmeram vor dem Umbau Reginwards. Wir finden dann in gleicher Reihenfolge bei den einzelnen Punkten folgendes vor:

1. Übereinstimmung; doch ist in Hirsau der östliche Querbau zum Querschiff weiterentwickelt.
2. Übereinstimmung.
3. Unterschied.
4. Übereinstimmung sehr wahrscheinlich; die heutige Sakristei dürfte an der Stelle einer älteren stehen, nachdem auch die älteste, der heutige, nördliche Nebenchor schon an der Nordseite der Kirche gewesen war.
5. Übereinstimmung. Die Emmeramkrypta war seit Tutos und Ramwolds Umbau verdunkelt; auch die Altarconfessio Tutos konnte nicht als vollwertige Krypta gelten[134]).
6. Unterschied.
7. Unterschied.
8. Unterschied sehr wahrscheinlich.
9. Übereinstimmung.
10. Übereinstimmung sehr wahrscheinlich.
11. Unterschied sehr wahrscheinlich.
12. Übereinstimmung.
13. Unterschied sehr wahrscheinlich. Die Kapitelle der Reginwardzeit sind nur scheinbar verwandt, denn ihr Halbring ist erhaben, beim Hirsauer Kapitell aber ist der Halbring zurückgearbeitet.
14. Unterschied weit überwiegend. Über die alten Türformen wissen wir zwar nichts Sicheres, wahrscheinlich aber waren sie rundbogig geschlossen (über die weite Verbreitung des Flachgiebelsturzes unabhängig von Hirsau vgl. Mettler S. 77, 78). Für die alte Gesamtanlage St. Emmerams haben wir den völligen Mangel an Ziergliedern hervorgehoben.

Überblicken wir dieses Ergebnis, so finden wir neben mancherlei Verschiedenheit doch eine überraschend weitgehende Ähnlichkeit und zwar gerade in sehr wichtigen Punkten. So vor allem im dreischiffigen Chor, von dem noch Mettler glaubte, er sei „das sicherste Kennzeichen des altkluniazensischen Planes". Dabei ist nicht zu übersehen, daß St. Emmeram gerade in diesen entscheidenden Punkten noch im alten Bestande erhalten oder doch einwandfrei nachweisbar ist, auch bevor neue Grabungen vielleicht eine noch größere Ähnlichkeit dartun. Vom Bau des Majolus in Cluny aber ist trotz aller Wahrscheinlichkeit der Schlußfolgerungen Mettlers und anderer Forscher nur mehr eine mittelbare Vorstellung zu gewinnen. Schon die bisher geschilderte Sachlage würde hinreichen zur Frage der Hirsauer Schule einen gegen früher veränderten Standpunkt nahezulegen. Weit klarer sehen wir aber noch, wenn wir die Persönlichkeit Wilhelms betrachten, des von St. Emmeram nach Hirsau verpflanzten Abtes, in dem wir den Vermittler dieser Baugedanken suchen.

3. Abt Wilhelm von Hirsau.

Wilhelm war längst ein berühmter Mann, ehe er nach Hirsau berufen wurde. Er war einst im Kloster St. Emmeram die erste Stütze mathematisch-astronomischer Wissenschaft gewesen; als er sein uns erhaltenes Werk „astronomica" schrieb, gehörte er also dort der fortschrittlichen, von Otloh bekämpften Richtung an. Die Vorrede dieses Werkes ist ja gerade gegen die Partei Otlohs gerichtet, sie enthält die oben angeführte Kennzeichnung dieser Eiferer, daß sie nur die Wissenschaft des Psalteriums für den Mönch erlaubt halten wollten. Das Werk ist in der damals beliebten Form des Zwiegespräches gehalten; da ist es nun sehr bezeichnend und vielleicht wirklich mehr als Kunstform, daß nicht so sehr Wilhelm selbst gegen Otlohs Richtung ausfällt als vielmehr sein Freund, der dort nur mit O. bezeichnet, von Endres als der Mönch Otker wahrscheinlich gemacht ist.[135]) Dieser ermuntert Wilhelm zu seinen Forschungen und redet ihm ausführlich Gewissensbisse ob der Beschäftigung mit solcher „weltlichen" Wissenschaft aus. Wilhelm war vielleicht damals schon schwankend; später kehrte er sich in der Tat immer mehr der strengeren Richtung zu. Es hat sich offenbar ein Wandel in ihm vollzogen, ähnlich wie bei seinem Mit-

133) Die bei anderen Schriftstellern häufig vertretene Ansicht, daß St. Peter einen Vierungsturm besessen habe, widerlegt Mettler ausführlich und mit guten Gründen.

134) Der Mangel an Krypten fällt in Regensburg überhaupt auf; vgl. Ober- und Niedermünster, St. Jakob, St. Kassian, Alte Kapelle; auch der vorgotische Dom scheint keine Krypta besessen zu haben, während der heutige nur die Reste einer sehr bescheidenen Anlage verrät.

135) J. A. Endres, Forschungen zur Geschichte der frühmittelalterlichen Philosophie, a. a. O. S. 73, Anm. 2.

bruder Arnold, dem oben mehrfach genannten Geschichtschreiber, der von seiner an sich selbst erlebten Umkehr berichtet: „Da habe ich mich voll Schrecken von den heidnischen Büchern abgewandt, denen ich bis dahin ob ein bißchen Weltruhm zugetan war, und ich suchte mich in heilsamerer Eingebung in die göttlichen zu vertiefen; da erst kam ich auf den Unterschied, welch ein Abstand zwischen Licht und Finsternis sei, zwischen Gott dem Herrn und Belial.“[136])

Es ist damit sehr gut in Einklang, wenn Helmsdörfer auf Grund eingehender literargeschichtlicher Forschungen zur Ansicht kommt, daß in Hirsau „die heidnischen Autoren“ in bewußter Weise fern gehalten wurden.[137]) Wir haben aber auch Wilhelms eigenes unzweideutiges Zeugnis für seine Neigung zur strengen Richtung, wenn er sagt, er habe in Hirsau Emmeramer Gepflogenheiten eingeführt und zwar die alten, die er einst als Knabe kennen gelernt habe, weil er später vieles darin gefunden habe, „was unter dem Einfluß der einschleichenden Lauigkeit allmählich von der Strenge und Reinheit des Mönchslebens abgewichen war.“[138]) Schon das allein ließe uns klar auf seine zumindest spätere Stellungnahme zur Bauweise Reginwards schließen; bei solcher Auffassung mußte er ablehnen, was er in seinem Mutterkloster bei Reginwards Bauvornahme hatte entstehen sehen. Und geradezu als monumentaler Beweis dieser Gesinnung stellt sich uns nunmehr auch die Schöpfung der Hirsauer Kirche dar. Wir sehen ganz deutlich, mit welcher Entwicklungsstufe der Kirche St. Emmeram das Hirsauer Münster St. Peter Verwandtschaft zeigt: es ist das St. Emmeram aus Wilhelms Jugendzeit! Der Umbau Reginwards wird in nichts wiederholt: weder die Doppelchoranlage, noch die aufwändige Wolfgangskrypta, weder der Lieblingsgedanke Reginwards, der Nischenschmuck, noch die an die Antike erinnernde Formensprache der Einzelheiten findet Nachbildung. Dafür wird der offene, in St. Emmeram eben aufgegebene Vorhof und das einfache lateinische Kreuz gewählt, das im Vergleich zu St. Emmeram nur im Sinne des allgemeinen Fortschritts weitergebildet ist. Wie eine Anklage gegen die „weltliche Richtung“, so erhob sich das Münster des strengen Reformators zu Hirsau, gleich deutlich in der Sprache seiner Nachahmung wie in der seiner Ablehnung.

Auch die weitere, bisher strittige Frage, ob Wilhelm selbst der Schöpfer des Hirsauer Baugedankens sei, können wir nunmehr bejahend beantworten; bei seiner besonderen mathematischen Schulung lagen Wilhelm von vornherein auch die Fragen von Grundrißlösung und Raumgestaltung nahe. Obgleich seine Tätigkeit als „Feldmesser“ längst bekannt war, hat man ihn aber bisher doch nicht mit Sicherheit auch als Baumeister angesehen. Nun wird uns aber Wilhelms Teilnahme bei der Klostergründung Zwiefaltens folgendermaßen geschildert: „Wilhelmus per se adveniens, ac propriis manibus, quia in tali negotio peritissimus erat, coepit Monasterium metiri et caeteras officinas, ut hodie cernuntur, in nomine Domini pulchre prudenterque disponere.“[139]) „Wilhelm kam und, da er in solchen Aufgaben besonders bewandert war, steckte er eigenhändig das Münster ab und ordnete auch die anderen Gemächer im Namen des Herrn schön und zweckmäßig an.“ Ohne Zweifel ist hier die Tätigkeit eines Architekten gekennzeichnet, nicht die eines „Feldmessers“! Paulus hat recht geraten, als er schrieb: „Trügt nicht alles, so tritt uns in Abt Wilhelm eine der damaligen größten Baumeistergestalten entgegen....., er war der richtunggebende Genius.“[140]) Bär hingegen ist anderer Ansicht und meint: „Eine Kirche, wie die St. Peterskirche zu Hirsau vermag heute wie ehedem, auch wenn er noch so genial, nur derjenige, als das Beste seines Könnens hinzustellen, der sich zeit seines Lebens aufs intensivste mit dem Studium der Architektur beschäftigt hat. Ein Dilettant, und als solchen müssen wir doch Wilhelm mehr oder weniger immer ansehen, kann wohl sagen, wie er es haben möchte, er kann wohl auch in der Lage sein, einen allgemeinen Grundriß zu entwerfen und auszustecken, aber seine Wünsche, das Gebilde der Phantasie in die Wirklichkeit übertragen, kann er nicht!... Wilhelm war gewiß ein bedeutender Mann, vielleicht einer der gebildetsten seiner Zeit, ein großer Architekt aber kann er nicht gewesen sein ...“[141]) Bär nennt als treibende Kraft die Zeit und als ihre Kinder Berufsarchitekten, die er unter den Laienbrüdern sucht. Er hätte in seinem Gedankengang noch hinzusetzen können: „Als Wilhelm mit Cluny in Verbindung trat, war er schon reichlich auf Jahren; da konnte er wohl noch seine Anschauungen über Klosterzucht und Ordensregel in einigen Punkten ändern, aber ein völlig Neues lernen, erst damals ein Baumeister werden, das konnte er nicht mehr.“ Und Bär müßte mit derartigen sachlichen Gründen recht behalten, wenn nicht seine Voraussetzung irrig wäre. Denn Wilhelm hatte nicht nötig, erst in Cluny das Bauen kennen zu lernen! Er war technisch begabt; das bezeugt sein mathematischer Ruf, sein Ruf als Feldmesser. Er hatte im Kloster St. Emmeram auch eine astronomische Uhr gefertigt und er war vielseitig genug gewesen, auch über Musik zu schreiben, und anstellig genug, eine neue Flöte zu bauen.[142]) Dieser lebhafte Geist verfolgte seinerzeit sicherlich mit vollster Aufmerksamkeit auch die Bauvornahmen in seinem Mutterkloster. Ja — wir wissen es freilich nicht — vielleicht leben seine Gedanken noch fort in der Wölbekunst Reginwards; vielleicht half dieser geschickte Kopf in unbefangener Freude und begeistert, vielleicht schon zweifelnd und nur im Gehorsam der Regel mit, das ganz eigenartige Gewölbe der Magdalenenkapelle auszumitteln. Wir kennen ja nur seine spätere, ablehnende Stellungnahme zu den Reginwardbauten nach der Abkehr von der ehedem gepflegten,

136) „Inde absterritus subduxi me, quibus eatenus ob gloriolam seculi adhaesi, libris paganis, et saniore consilio implacabar divinis. Tunc primum coepi discernere, quae distantia esset inter lucem et tenebras, inter Dominum et Belial.“ Angeführt bei Döberl I, S. 203.

137) A. Helmsdörfer, Forschungen zur Geschichte des Abtes Wilhelm von Hirsau. S. 81. Göttingen 1874.

138) M. Kerker, Wilhelm der Seelige Abt von Hirschau ..., Tübingen 1863, S. 35: „Postquam ego frater Wilhelmus ... huius loci provisor sum constitutus indidi eis in primis quas a puero didiceram in Monasterio S. Emmerami regularis vitae consuetudines“ und „sed quia multa in eis (consuetudinibus) erant, quae paulatim succedente desidio a monastico rigore et ab illius partae nobilitate videbantur degenerasse“ nach P. M. Hergott, Vetus disciplina monastica, p. 375.

139) M. Kerker a. a. O. S. 189 nach Berthold bei Heß II, 183.

140) Ed. Paulus im Württembergischen Inventar II, S. 46.

141) C. H. Baer, Die Hirsauer Bauschule S. 127. Freiburg und Leipzig 1897.

142) M. Kerker a. a. O. S. 24 ff.

fortschrittlichen Richtung überhaupt. Jedenfalls kannte Wilhelm das Bauen schon von Jugend auf! Gegen Bär spricht aber auch noch ein anderes: Wer eigenhändig eine große Klosterkirche aussteckt und zwar als gewohnte Arbeit, der ist auch heute kein „Dilettant"; der weiß auch um Aufriß und Querschnitt Bescheid. Das galt aber sicher noch viel mehr für jene frühen Zeiten, in denen sich die Berufe noch nicht so sehr zersplittert hatten. Und überdies bestätigt uns ja der Bericht von der Gründung St. Georgens eine solche baugestaltende Tätigkeit Wilhelms mit aller nur immer wünschenswerten Deutlichkeit: „Locum personaliter accessit, formam ac modum construendi monasterii praescripsit ac de suis monachis aliquos in adiutores deputavit" (Trithemius, Annales Hirsaugienses, I, 265). „(Wilhelm) hat selber den Ort besucht, hat die Art und Weise des Klosterneubaues vorgeschrieben und etliche seiner Mönche zur Beihilfe abgeordnet."

Wilhelm war ein umfassender Geist. Mit zielbewußter Gestaltungskraft bildete er das Klosterleben in allen seinen Formen um; es besteht kein triftiger Grund zu zweifeln, daß er auch selber und in sehr weitgehendem Sinne als der Schöpfer der Hirsauer Kirchenbauweise zu betrachten ist. Auch über das grundsätzliche Verhältnis Wilhelms zu Cluny ist gegen die frühere Auffassung noch einiges nachzutragen. Die Klosterregel Clunys war nämlich Wilhelm durchaus nicht ganz neu; auch sie kannte er in den Grundzügen schon von Regensburg her. Bischof Wolfgang hatte von Einsiedeln Reformgedanken nach Emmeram gebracht. Einsiedeln und Cluny aber standen, wenn auch nicht unmittelbar, in innerem Zusammenhang, wie Tomek ausführlich nachweist[143]). Es ist also so, daß zwei letzten Sinnes aus einer Quelle gespeiste und gleichlaufende, jedoch örtlich getrennte Richtungen durch Wilhelm wieder zusammengeführt werden. Aus dieser Vereinigung erst erwächst der durchschlagende Erfolg der Hirsauer Schule. Wörtlich kann daher auch für ihre Bedeutung in der Kunstgeschichte gelten, was Kerker von der ganzen Bestrebung dieser Hirsauer sagt (S. 21): „Ihre letzte Quelle haben jene Strömungen, welche ...., ganz Schwaben durchzuckten, offenbar in der Persönlichkeit Wilhelms, des großen von St. Emmeram nach Hirsau verpflanzten Mannes, der auch ohne den Anschluß an Cluny eine Säule der Kirche in Süddeutschland geworden wäre, durch diesen Anschluß aber allerdings außerordentlich an Kraft und Bedeutung gewonnen hat."

4. Folgerungen.

Erst die Kenntnis dieser Sachlage erlaubt auch die baugeschichtliche Grundlage der Hirsauer Schule genauer als bisher zu umschreiben. Neben Cluny haben wir als maßgebenden Ausgangspunkt St. Emmeram kennen gelernt. Eine dritte Quelle der Formensprache war offenbar die St. Aureliuskirche in Hirsau, die Wilhelm bei seinem Amtsantritt schon nahezu fertig vorfand (Grundriß Text-Abb. 39). Zwei Jahre nach seiner Berufung wurde sie geweiht, von einer späteren Bauvornahme ist nichts überliefert. Mettler hat auf die baugeschichtlich sehr wichtigen Fragen dieser Kirche ausführlich hingewiesen.[144]) Auf ihre Kryptenanlage kamen wir schon oben zu sprechen. Wir übergehen sie hier und ebenso die Frage nach der Herkunft ihrer Gesamtanlage, nach jener ihrer Säulen und Kapitelle und der ihrer Seitenschiffwölbung. Diese Anlagen fand ja Wilhelm wohl alle schon fertig vor, hingegen nicht die Nebenchöre. Ausgrabungen haben erwiesen, daß diese erst eine nachträgliche Zutat sind. Man nahm daher bisher an, sie könnten erst entstanden sein, nachdem Wilhelm mit Cluny in Verbindung getreten war, also nicht vor dem Jahre 1077. Nun kannte aber Wilhelm diese Anordnung schon von St. Emmeram her. Da er ausdrücklich sagt, er habe zuerst Emmeramer Gebräuche nach Hirsau verpflanzt, und da eine spätere Bauvornahme an St. Aurelius nicht überliefert ist, so ist nunmehr als sehr naheliegend zu betrachten, daß die Anfügung der Nebenchöre von St. Aurelius noch vor die Weihe der Kirche im Jahre 1071 fällt, noch ehe Wilhelm mit Cluny unmittelbar Fühlung hatte (Dehio u. v. Bezold S. 210). Mit Ausnahme der ihrer Herkunft nach noch nicht geklärten Osttürme und ganz weniger Einzelformen finden wir nun alle grundlegenden Gedanken der Hirsauer Schule in den drei Kirchen: St. Emmeram in Regensburg, St. Aurelius in Hirsau und St. Peter in Cluny vorgebildet. Im Neubau Wilhelms von St. Peter in Hirsau sehen wir dann die Anlagen von St. Emmeram und St. Aurelius teilweise weiter entwickelt, die von St. Aurelius bezüglich der Seitenschiffwölbung aber auch vereinfacht und ebenso die von St. Peter in Cluny und St. Emmeram in Regensburg um den Gedanken des Mittelturmes. Wir kommen somit zum Schlusse, daß Wilhelm keineswegs vorgeschwebt hat, die Bauweise von Cluny als solche nachzubilden, ebensowenig wie St. Emmeram oder das zufällig vorgefundene Aureliuskirchlein. Die Eigenart seiner Kirche ist vielmehr durch Auswahl und Neuschöpfung aus dem Grundgedanken entstanden ein Gotteshaus erstehen zu lassen, das dem neu geregelten Klosterleben entsprechen und das zugleich die alte Strenge und Sitteneinfalt schon in seinen Formen versinnbilden sollte. Den baulichen Ausdruck hierfür fand er größtenteils in Cluny verwirklicht, er hatte ihn aber auch schon in St. Emmeram liebgewonnen gehabt und dort untergehen sehen und ihn in St. Aurelius teils wiedergefunden, teils nach dem Regensburger Vorbild ergänzt. In großzügiger Weise suchte er endlich mit St. Peter in Hirsau sein volles Ziel zu verwirklichen. Er wollte Altes geben; indem er aber in glücklicher Wahl von verschiedenen Vorbildern Gedanken entlehnte, übertraf er sich selbst in einer Schöpfung voll neuer, ursprünglicher Lebenskraft.

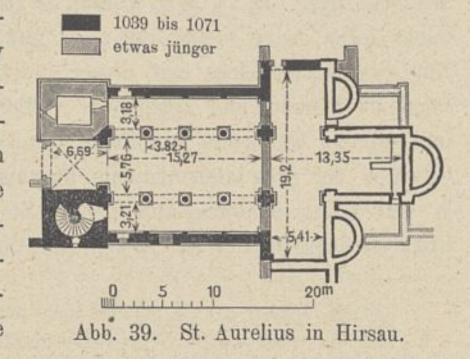


Abb. 39. St. Aurelius in Hirsau.

Das Bemerkenswerte der neugeschaffenen Kirchenart liegt dabei ebenso in der Raumgestaltung wie in der Wahl der Formensprache. Die Schule verzichtet auf Krypta und Vierungsturm und gewinnt hiermit eine wesentliche Vereinfachung des Innenraumes. Mit dem Ausschluß eines Mittelturmes wird dabei freilich gerade der fruchtbarste und nach

143) Tomek, Studien zur Reform der deutschen Klöster im XI. Jahrhundert I, S. 95 ff. Wien 1910.

144) Mettler a. a O. S. 67 ff.

meiner Auffassung wesentlich treibende Keim der lateinischen Kreuzanlage ausgebrochen, aber doch erst nachträglich, nachdem sein Einfluß auf die Gesamtgestaltung sich bereits voll ausgewirkt hat und ohne daß diese sonst weitgehend verändert würde. Wesentlich ist hierbei, daß die derart vereinfachte Anlage nicht etwa als unvollendet erachtet wird; die Hirsauer Schule erblickt vielmehr im so geschaffenen, um den Mittelturm geschmälerten Baukörper ihr neues Kirchenideal; wir können es als „lateinisches Kreuz ohne Mittelturm" bezeichnen. Damit hat die Schule aber auch das konstruktiv Schwierigste des damaligen Kirchenbaues fortgelassen. Wilhelm hat bewußt oder unbewußt das bauliche Ziel seiner Schule dadurch wesentlich niedriger gesteckt und sicherlich nicht zuletzt gerade hierdurch gewonnen, daß es so häufig erreicht wurde.

Den Wandel der Formensprache haben wir schon oben als bewußte Abkehr vom klassischen Formenschatz zu erklären gesucht. Es wäre indessen verkehrt, hierin etwa eine kleinlich-engherzige Auffassung der neuen Richtung erblicken zu wollen. In solchem Sinne dürfen wir mit Recht wohl nur die äußerste Nüchternheit eines Otloh einschätzen, diesen trockenen Geist, der schließlich jeder Kunstbetätigung abhold war. Was wir bei Wilhelms Schule sehen, ist etwas ganz anderes. Hier wird keineswegs die Kunst überhaupt abgelehnt, wohl aber wird das Ziel, das Kunstwollen eindeutig geklärt und für eine lange Folgezeit in feste Bahnen gewiesen. Es ist, als seien jener Zeit Schuppen von den Augen gefallen, als sei sie ganz plötzlich erst den vollen Gegensatz zwischen heidnisch-antiker und christlich-mittelalterlicher Kultur so recht gewahr geworden, einen Gegensatz, der einst einem Karl dem Großen oder kurz zuvor noch einem Wolfgang gutenteils entgangen war. Sinnenfreudige Daseinsbejahung und weltabgewandter Jenseitsglaube, die Zwiespaltempfindung von Seele und Welt, diese scharfen Widersprüche traten erst damals den Mönchen wieder klar ins Bewußtsein. Zu einem ähnlichen Ausgleich wie Jahrhunderte später zu Zeiten von Humanismus und Renaissance fehlten noch zu viele Voraussetzungen; so gab es denn nur eine reinliche Scheidung. Und als da die christliche Weltanschauung siegte und ihrer Eigenart aufs neue und deutlicher als vordem bewußt geworden, da mußte sich diese Klärung auch notwendig im Ausdruck der Kunstformen spiegeln. Aus einem tief innerlichen, geradezu zwangsläufigen Zusammenhang zwischen Weltanschauung und Kunstform hat sich daher diese jähe Abkehr vom klassischen Formenschatz und diese Zuneigung zu gegensätzlich gearteten Schmuckformen (Schachbrettmuster) vollzogen[145]. Die antike Kunst mußte zu jener Zeit gewissermaßen nochmals überwunden werden, ehe der romanische Stil von da ab erst — sozusagen gereinigt — unbeirrt und stufenweise der Gotik entgegenreifen konnte, jener Kunstform, die am vollendetsten christlich-mittelalterlicher Weltanschauung in Wesen und Ausdruck entsprechen sollte. In diesem Sinne bereitet sich schon in der Hirsauer Schule die neue große Bewegung vor, die in Wilhelm einen ganz ausgeprägten Bahnbrecher fand.

Wie Wilhelm nicht Clunys Regel schlechthin übernahm, sondern in Ergänzung der Emmeramer Gebräuche im Anschluß an Cluny eigene constitutiones Hirsaugienses schrieb, so war es auch Wilhelms Geist, der die Baugedanken seiner Kirche entwickelte, nicht Cluny schrieb sie ihm vor[146]. Wir müssen somit die Hirsauer Schule in weit umfassenderem Sinne, als man bisher dachte, als ein deutsches Werk betrachten. Ihr Vorbild stand ebenso wie in Cluny auch in Hirsau und vor allem auch in Regensburg, in „Bayerns mittelalterlicher Kunsthauptstadt". Und der Schöpfer dieser Bauschule, die ganz Deutschland so überaus segensreich befruchtet hat, ist ein Bayer gewesen, ein Zögling St. Emmerams, dieser einzigartigen Bildungsstätte jener Zeit. Höchst eigenartig, aber auch völlig, wie wir sehen, im geistigen Zwiespalt jener Zeit begründet ist es freilich, daß dieser weitreichende Einfluß der Kirche St. Emmeram sich erst dann aus einer Stufe ihrer Entwicklung entfalten sollte, als das Vorbild in Regensburg selbst bereits von einer weitläufigeren Anlage überholt worden war. In bewußtem Gegensatz griff Wilhelm auf die ältere Anlage zurück, die Renaissancegedanken Reginwards ersterben in ihrer ersten Blüte. „Mit der neuen Ausbreitung der neuen Mönchsbewegung wuchs in den streng kirchlichen Kreisen die Abneigung gegen die antike Bildung. Mit der unbefangenen Freude am klassischen Altertum war es zu Ende" (Doeberl I, S. 205).

VI. Die Bauvornahme Eberhards.

Wenden wir uns wieder der besonderen Baugeschichte der Kirche St. Emmeram zu, so stoßen wir schon kurze Zeit nach Reginwards Erweiterung auf abermalige Bautätigkeit. Schon 10 oder 11 Jahre nach der Wiederweihe der Kirche des Jahres 1052 brach ein neuer Brand aus und nach weiteren zwei Jahren angeblich ein noch größeres Schadenfeuer. Otloh berichtet von einem Brande am 13. April 1062.[147] Das Mausoleum meint vermutlich das gleiche Ereignis, verlegt es jedoch ein Jahr später: „anno 1063 beschädigte unser Kloster eine große Brunst"[148], und unmittelbar anschließend heißt es hier weiter; „anno 1066 aber ist uns Closter ganz und gar abgebronnen, daß auch die Mauern an der herrlich schönen Stifft-Kirchen, welche Kayser Carl der Grosse St. Emmeram zu Ehren stattlich erbaut, eingefallen seynd". Dieser Wortlaut stimmt allerdings fast genau mit einem alten Bericht über den Brand des Jahres 1166, auf den wir später kommen werden; da auch die Jahreszahlen nur um eine Ziffer verschieden sind, ist eine Verwechslung sehr nahe liegend. Die bisherige Forschung hat denn auch einen Brand im Jahre 1066 nicht angenommen, obgleich das Mausoleum darauf auch noch an anderer Stelle (Mausoleum [Ratisbona monastica] [4], 260) und außerdem ausdrücklich auch auf den Brand des Jahres 1166 zu sprechen kommt. Man legte bisher, wie gesagt, der ausführlicheren Meldung vom Einsturz alter Mauern keine Bedeutung bei, da man sie überhaupt für irrig hielt und meinte, Reginward habe „sein eigenes Werk wie-

145) Über diesen Zusammenhang zwischen Weltauffassung und Stil vgl. W. Worringer, Abstraktion und Einfühlung. München 1908; der im vorliegenden Fall beobachtete Stilwandel im Zusammenhang mit einer gewissen Schwankung der Weltanschauung kann geradezu als ein Musterbeispiel zu den Ausführungen Worringers angesehen werden.

146) Die französischen Kunsthistoriker sind über Clunys Bedeutung für die Baukunst nicht einig und neigen in jüngerer Zeit dazu, sie sehr gering einzuschätzen; vgl. Mettler S. 90 ff.

147) Otloh, Liber de temptatione. Mon. Germ. hist. L.S. 11, 389.

148) Mausoleum (Ratisbona politica) 307.

der zu restaurieren“ gehabt (Walderdorff S. 313). Der Schaden am Kirchengebäude muß aber doch recht bedeutend gewesen sein, denn eine bisher nicht benutzte Stelle sagt von Reginwards Nachfolger, dem Abte Eberhard: „(Eberhardus) Abbatia S. Emmerami investitur, quae tunc temporis ex adustione ignis delapsa erat. Dum vero damna eiusdem Ecclesiae multa solicitudine ad meliorem statum repararet . . . .“ [149]) Eberhard hatte also in ausgedehntem Maße an der Kirche zu bessern und nicht etwa nur am Kloster. Genaueres freilich erfahren wir wiederum nicht. Nehmen wir aber an, es sei jene Nachricht vom Einsturz alter Mauern doch nicht völlig gefälscht, so kommen wir im Zusammenhalt mit dem heutigen Baubefund zu der Mutmaßung, es habe damals im Ostteil gebrannt und es sei der alte östliche Querbau eingestürzt. Eberhard habe dann jenen mit Ausnahme der Gewölbe über den Nebenchören inzwischen auch wieder verschwundenen Ersatzbau aufgeführt, auf den wir schon oben wegen der über diesen Gewölben gefundenen, schönen Tonfliesen und wegen der Spuren einer Balkenlage oberhalb des Gewölbes geschlossen haben (vgl. S. 65ff.). Dazu kommt, daß die heutigen Seitenschiffwölbungen (wie das Langhaus überhaupt) nicht über die Erneuerung nach dem Brande des Jahres 1166 zurückgehen, während die Gewölbe der heutigen Nebenchöre anscheinend älter sind. Während nämlich ihre Gurten im allgemeinen, wie oben erwähnt, sehr unregelmäßig auf den schweren Pfeilern des ursprünglichen Querbaues aufsitzen, schneiden sie mit seiner Westflucht bündig ab. Deutlich unterscheiden sich auch unter den Seitenschiffdächern ihre im Vergleich zu den Seitenschiffgewölben weit schwerfälligeren Gewölbebuckel. Anscheinend besitzen diese östlichen Gewölbe einen weit steileren Stich als die übrigen, wenn auch die heutige Untersicht infolge des barocken Stuckauftrages solches nicht erkennen läßt. Vermutlich gehen diese Gewölbe der Nebenchöre mitsamt den östlichen, etwas schwächeren Pfeilerpaaren daher auf die Erneuerung nach jenem Brande des 11. Jahrhunderts zurück, und Abt Eberhard scheint über ihren westlichen Jochen einen Querbau wiederholt zu haben. Nach dem Fliesenfund ist anzunehmen, daß wiederum ein Emporengeschoß zur Ausführung kam. Vielleicht erhielt es damals gegen das Mittelschiff ein Doppelfenster jener Art, wie wir heute eines in Prüfening und Niedermünster zwischen dem Altarhaus und den Nebenchören finden; freilich wissen wir nichts Bestimmtes. Vor allem auch darüber nicht, ob der Mittelturm wieder aufgeführt wurde. Das Letzte wird allerdings wahrscheinlich durch die heutigen Pfeilerreste über dem Gewölbe des nördlichen Seitenschiffes. Sie gehören m. E. zwar erst dem Umbau von 1166 an. Allein sie sind kaum anders zu deuten denn als Stütze oder Verstrebung eines Mittelturmes, den man damals anscheinend ohne Wiederholung der Empore beabsichtigt hatte. Zur Ausführung kam zwar 1166 dieser Turm nicht mehr, aber die noch erkennbare Absicht hierzu macht wahrscheinlich, daß bis dahin ein solcher bestanden habe, d. h. also 1066 wiederholt worden sei. Vielleicht wurden schon damals beim Einzug der Gewölbe in den alten Querhausflügeln im Erdgeschoß deren ursprüngliche Bogenöffnungen ins Mittelschiff der größeren Tragfähigkeit wegen derart durch Mauern geschlossen, wie wir sie heute noch finden; daß sie nach 1166 bereits vermauert waren, werden wir alsbald sehen. Die Verbindungstüren mit dem Mittelschiffchor waren vermutlich stets an ihrer heutigen Stelle, im Plane von 1680 dürften sie verzeichnet sein.

149) Mausoleum (4), S. 264 nach Handschriften von Tegernsee; Eberhard kam im Jahre 1070 nach Tegernsee.

Eberhards Bautätigkeit fassen wir also im großen und ganzen als Wiederherstellung der unter Reginward entstandenen Gesamtanlage auf. Nach außen hin hat vielleicht keine wesentliche Veränderung stattgefunden; im Innenraume kam der östliche Querbau nach Schließung der unteren Bogen noch weniger als vordem zur Geltung. Um so mehr wurden die Nebenchöre, deren Raumwirkung, von den Einzelformen abgesehen, der heutigen schon nahe kam, als besondere Kapellen betont; durch Überwölbung waren sie vor den noch flach überdeckten Seitenschiffen ausgezeichnet.

VII. Die Bauvornahme Adalberts und Peringers.

1. Der Bauanlaß.

Ein Jahrhundert später kommt die Nachricht von abermaligen Bränden zur Regierungszeit des Abtes Adalbert (1149 bis 1177). Das Mausoleum sagt: „Dieser liebe Prälat erfuhre zwo Brunsten in seinem Closter, deren eine anno 1163 ein Theil des Closters, die andere (dasselbe) 1166 gantz verzehrte“ (4, 276). Verlässiger ist jene andere Stelle aus dem alten Prüfeninger Codex des 12. Jahrhunderts, die wir schon Seite 58 Anmerkung 7 angeführt haben: „Im Jahre des Herrn 1166 brannte das Münster des heiligen Emmeram nieder und die Mauern, die vor vierhundert Jahren auf Befehl Carl des Großen von Bischof Sintbert aufgeführt worden waren, stürzten zusammen.“ Auf die Erneuerung nach diesem Brande ist von Hager mit Recht das heutige Langhaus zurückgeführt worden. Aber auch der östliche Querbau und der Mittelturm muß damals neuerdings eingestürzt sein. Auch die heutige Vorhalle wird, wie schon die bisherige Auffassung sagt, im Anschluß an diesen großen Brand entstanden sein. Bei diesem Schadenfeuer wird ferner der Einsturz des Turmes über der Magdalenenkapelle und ebenso der des benachbarten Querschiff- und Westchorgiebels erfolgt sein. St. Emmeram hatte also sehr stark gelitten, zumal wenn wir auch noch Brandschäden an den Klostergebäuden hinzurechnen. Das Mausoleum berichtet sogar ausschließlich von solchen, die Bezeichnung Monasterium dürfte Kirche und Kloster zusammen bedeuten. Dieser Umfang des Brandschadens wird verschuldet haben, daß die einzelnen Bauten nicht mehr im alten Umfange und nur allmählich wieder erstanden und nicht nach einem streng einheitlichen Plane. Der Wiederaufbau reichte sicherlich auch noch weit in die Zeit des tatkräftigen Abtes Peringer hinein (1177 bis 1202). Und offenbar steht dessen trotz der „sehr hohen Unkösten“ mehrfach dankbar erwähntes Werk einer neu angelegten Wasserleitung in Bleiröhren mit dem großen Brande des Jahres 1166 in ursächlichem Zusammenhang [150]). Wir können die einzelnen Bauvornahmen nicht mehr auf die beiden Äbte Adalbert und Peringer verteilen und beschreiben deshalb nach örtlicher Reihenfolge.

150) Das Wasser wurde bis von dem eine halbe Stunde entfernten Dechbetten hergeleitet. Noch beim Brande des Jahres 1642 wird der Nutzen dieser Leitung besonders erwähnt, vgl. Mausoleum (4) S. 289.

2. Der Bauvorgang.

Die Ostteile. Auf die Veränderung des Giebels kommen wir unten. Wie schon beschrieben, führen wir die Gewölbe der Nebenchöre noch ins 11. Jahrhundert zurück und haben Grund, für jene Zeit auch einen Wiederaufbau des gesamten Querbaues anzunehmen. Nach 1166 war zunächst ebenfalls die Absicht dazu vorhanden gewesen; mit Rücksicht auf die zahlreichen vordringlichen Arbeiten mußte sie wohl bald wieder aufgegeben werden. Auf diese Weise lassen sich etwa die in ihrer heutigen Anlage sonst unverständlichen Pfeiler an der Mittelschiffwand überm Gewölbe des ursprünglichen nördlichen Querbauflügels erklären (Abb. 2 Bl. 4, Abb. 3 Bl. 6). Man ließ den Plan eines vollen Wiederaufbaues offenbar sehr rasch fallen, denn über dem südlichen Seitenschiff finden wir keine solchen Pfeiler angesetzt, hingegen die schon eingangs erwähnte Lisenengliederung; man wollte sich also mit einer Belebung der schlichten Mauern begnügen. Aber schon beim Langhausbau, den wir wohl etwas später als die zuerst wieder instand gesetzten Ostteile annehmen müssen, ist auch dieser Gedanke wieder aufgegeben. Eben damals müssen wohl auch die Treppentürme, wenn sie bis dahin überhaupt bestanden, niedergelegt worden sein.

Das Langhaus. Die Mittelschiff-Außenmauern des neu aufgeführten Langhauses waren nur durch die Fenster gegliedert. Dieser Teil ist übrigens nicht, wie Hager schreibt, ein Quaderbau (Hager S. 11), sein über den Seitenschiffgewölben deutlich sichtbares Gefüge kann vielmehr nach landläufiger Ausdrucksweise nur als lagerhaftes Bruchsteinmauerwerk bezeichnet werden. In der Außenflucht gehen seine Mauern bündig mit denen des Chores, nach innen hingegen springen sie vor. Gewitzigt durch den Einsturz des alten Baues wählte man eine etwas größere Mauerstärke und man rückte damit ins Mittelschiff vor, da die Seitenschiffe mit Rücksicht auf ihre Überwölbung ohnedies durch besondere Pfeilervorlagen verschmälert wurden. Auf diese Weise wurde das Langhaus weniger breit als der Chor, ohne daß der Übergang etwa durch einen Triumphbogen vermittelt worden wäre (Abb. 2 Bl. 4, Abb. 2 Bl. 3, Text-Abb. 22 u. 23).

Über den architektonischen Aufbau ist völlige Klarheit vorläufig nicht zu gewinnen. Noch sind überm Holzgewölbe die lebhaft profilierten Blendbogen erhalten, die einst die Fenster umrahmten. Sie ruhen auf merkwürdigen und — so weit überhaupt — sehr verschiedenartig verzierten, in der Grundform beutelähnlichen Pilasterkapitellen. Die Pilaster oder Lisenen waren anscheinend auf die Kämpfer der Arkaden herabgeführt. Aber nur ihre obersten Teile sind zu verfolgen, während das ganze Mittelstück der Langhauswände unter der Barockeinkleidung des 18. Jahrhunderts verborgen ist. Höchst wahrscheinlich hat einst auch irgendeine wagerechte Gliederung bestanden, über deren Form wir ohne Eingriff in die Barockkruste freilich nur auf Vermutungen angewiesen sind. Nur mit dem Vorbehalt einer Mutmaßung kann daher als naheliegende Lösung eine Unterteilung durch Blendarkaden angenommen werden, durch eine Art Triforiengalerie mit je drei Bogen auf einem Feld (Abb. 10 Bl. 5, Text-Abb. 22 u. 23). Es ist das der gleiche Gedanke, den wir bei den fünfteiligen Blendarkaden der gleichzeitigen Vorhalle wieder finden. Für eine derartige Anlage scheint auch die größere Mauerstärke dieses Langhauses zu sprechen und weiterhin die Tatsache, daß uns nirgends von Wandmalerei im Langhaus berichtet wird, während uns der Schmuck der Apsis und zumal das Deckengemälde ausführlich geschildert werden. Allerdings haben wir auch keine Nachrichten über eine Bemalung der Chorwände, die wohl sicher vorhanden war, denn diese Wände waren offenbar ohne allen architektonischen Schmuck. Die Basen und die Kapitelle der Arkadenpfeiler sind nicht mehr vorhanden; die der Lisenen weisen recht verschiedenartige Behandlung auf. Als Scherz dürfen wir wohl den Mönchskopf betrachten, der uns an einem Pfeiler der Südreihe vermutlich noch aus der Zeit dieses Wiederaufbaues erhalten geblieben ist. Die Arkadenbogen waren gegen das Mittelschiff zu anscheinend mit Platte und Rundstab profiliert. Die Seitenschiffe wurden mit gratigen Kreuzgewölben überdeckt. Die Arkadenpfeiler bekamen daher ziemlich schwerfällige Vorlagen, schmälere die Innenseiten der Außenmauern. Deren Mauerwerk war anscheinend beim Brande ein Stück weit miteingestürzt oder absichtlich abgetragen worden. Jedenfalls dürften die oberen Teile, soweit wir den Gewölben entsprechend rundbogig geschlossene Flachnischen beobachten, erst dem Neubau des 12. Jahrhunderts angehören. Ob sie ursprünglich Fenster besaßen ist ungewiß[151]).

Beim nördlichen Eingang aus der Ostnische des Doppelportales, den Reginward einst in die glatte Wand gebrochen hatte, konnte bei der nachträglichen Austeilung der Wandpfeiler volle Regelmäßigkeit nicht erzielt werden; das Portal greift über das letzte, westliche Joch der Arkaden zu weit nach Osten vor. Setzte man nun auch den Wandpfeiler unmittelbar an den Ostrand der Leibung, so mußte die Gurte zum ersten Freipfeiler doch schräg geführt werden. Auf diese Weise entstand die heutige arge Verzerrung dieser Gewölbe[152]).

Turm, Giebel, Erhöhung des Fußbodens. Die Sparnischen der Außenwände des Turmes über der Magdalenenkapelle hielten einer schweren Brandprobe nicht stand. Zusammen mit Querschiff und Westchorgiebel stürzten die oberen Stockwerke ein. Noch sehen wir an der Westwand des nördlichen Querschiffflügels den Mauerabsatz, über dem das etwas schmälere, jüngere Mauerwerk ansetzt. Der Turm aber blieb bis zur Säkularisationszeit über dem unversehrt erhaltenen Stockwerk der Magdalenenkapelle liegen. Der Stumpf war mit einem nach Osten ansteigenden Pultdach abgedeckt, wie noch das Titelblatt der dritten Auflage des Mausoleums (1680) in Übereinstimmung mit noch erhaltenen Spuren erkennen läßt[153]). Dem Wiederaufbau nach dem

151) Hinter den Altären sind die Nischen noch unverändert, sonst wurden sie zur Barockzeit zu blinden Balkonnischen maskiert oder (in der Südwand) zu großen Fenstern in den Gang oberhalb des Kreuzganges durchgebrochen.

152) Das letzte Joch des nördlichen Seitenschiffes ist heute mit einer Tonne überspannt. Daß ursprünglich auch hier ein gratiges Kreuzgewölbe bestand, zeigen noch die Reste der alten Widerlager über der barocken Empore. Im letzten Joch des südlichen Seitenschiffes ist das gratige Kreuzgewölbe noch unverändert, alle übrigen Felder haben barocken Stuckauftrag erhalten.

153) Dieses Bild zeigt an der Nordwand des Westchors ein großes Fenster. Eine große nachträglich vermauerte Öffnung oberhalb der zwei ursprünglichen Sparnischen ist auch im heutigen Turme wahrnehmbar. Handelt es sich hier auch nicht um eine ursprüngliche Sparnische, dann sicher auch nicht um ein ursprünglich romanisches Fenster.

Brande von 1166 gehören auch die heute noch stehenden drei Giebel des Westteiles und spätestens auch der heutige Ostgiebel an. Vermutlich erst damals erfolgte daher die Erhöhung des Daches. Statt des sicher ursprünglich nur einen Rundfensters erhielt jetzt jedes Giebeldreieck deren drei, so daß an der Ostfront zusammen mit den zweien, die sich ins Langhaus öffneten, gar deren fünf sich zeigten (Text-Abb. 2 u. Abb. 7 Bl. 5)[154]. Der Querschiffsüdgiebel läßt auch

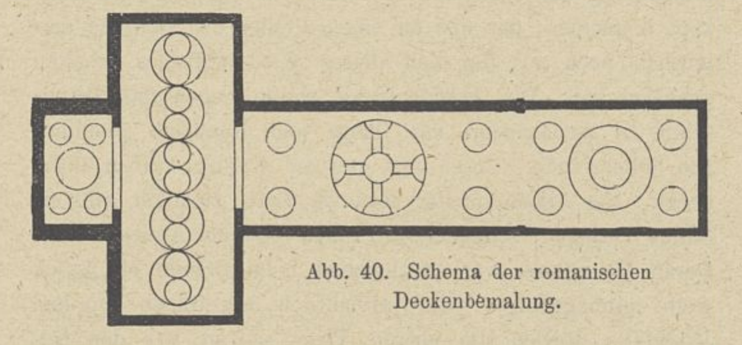


Abb. 40. Schema der romanischen Deckenbemalung.

erkennen, wie man damals für die nicht mehr aufgebauten Türme durch einen anderen Zugang ins Dach Ersatz geschaffen hat. An seiner Innenseite, gegen Osten aus dem Mittel gerückt, ist noch deutlich eine jetzt vermauerte Öffnung zu sehen. Entweder über ein bescheidenes Treppentürmchen oder wie später unmittelbar aus dem vormals am Querschiff totlaufenden Dachraum des Westflügels der Klostergebäude konnte man durch diese Tür in den Dachraum der Kirche gelangen. Dieser Zeit gehören wohl auch die zwei Tierköpfe am Westgiebel an, die an Wasserspeier erinnern. Schon wiederholt waren wir auf Spuren gestoßen, die deutlich eine Erhöhung des Fußbodens gegenüber der ältesten Lage verrieten. Wir gehen sicher nicht fehl, wenn wir das größte Anwachsen uns gerade durch den Brandschutt des Jahres 1166 verursacht denken. Nach dem Brande von 1642 ist kaum eine wesentliche Erhöhung anzunehmen; beim Barockumbau aber wurde, wie wir schon gesehen haben, der Chor sogar wieder tiefer gelegt, wenn auch keineswegs bis zur ursprünglichen Lage.

Der Gemäldeschmuck (Text-Abb. 40). Die Ungunst der Zeiten hat uns nur wenige Reste der romanischen Malereien St. Emmerams erhalten, und von diesen ist noch dazu der anscheinend beste Teil in der Magdalenenkapelle bis heute vernachlässigt geblieben. Ausnehmend gut aber sind wir über die erst im Brande des Jahres 1642 vernichtete alte Ausstattung noch durch Beschreibungen unterrichtet. Zumal über die Bemalung der Decke können wir nach Gegenstand und Anordnung noch ein sehr klares Bild gewinnen. Schon im Jahre 1902 hat Endres die ausführlichen alten Schilderungen veröffentlicht und eingehend gewürdigt[155]. Es genügt daher auf jene Darlegung hier zu verweisen und ihr nur das zu entnehmen, was für das alte Gesamtbild der Kirche unmittelbar von Belang ist. Ich habe deshalb auch versucht, die Verteilung der Bilder zeichnerisch wiederzugeben.

„Die drei Bilderkreise reihen sich derart aneinander, daß sie ein einheitlicher Gedanke deutlich miteinander verbindet. Es ist der Gedanke der Erlösung der Menschheit, welche in ihrem weltgeschichtlichen Verlaufe zur Darstellung gelangt, und darum die Weltgeschichte selbst, wie sie das christliche Mittelalter in großen Zügen dachte. Die Gedankenfolge geht von Westen nach Osten." Der Besucher konnte also in der Kirche „das große Drama vom Westchor beginnend und gegen den Chor fortschreitend in seiner ganzen Entwicklung verfolgen. Im (Westchor und) Westschiff befand er sich gleichsam in der Vorhalle zum Christentum. Er schaute dessen Vorbereitungen in der heidnischen Vorzeit. Das Schiff der Kirche erzählte ihm von der Tatsache der Erlösung, deren Werk in Christentum und Kirche fortbesteht. Aus dem Chore winkte ihm die Vollendung des Erlösungswerkes in der curia pacis, dem himmlischen Jerusalem, entgegen" (S. 235).

Die erste Bilderreihe war „in Summitate chori s. Dyonysj" angebracht und stellte in vier kleinen, äußeren Kreisen die Vision Daniels (Kap. 7) von den vier aus dem Meere aufsteigenden Tieren dar, die Versinnbildung der vier großen vorchristlichen Weltreiche. Im mittleren, größeren Kreise „In maiori rota sive Spera inter Quattuor minores" war der Ewige, „plenus Dierum", abgebildet, „der Allbeherrschende, welcher den einzelnen Reichen ihre Zeit, Anfang und Ende, bestimmt." Die nächste Bilderreihe umfaßte zehn Einzeldarstellungen je zu zwei kleinen in fünf größeren Kreisen zusammengefaßt fortlaufend nebeneinander: „Carmina vicena heroica decem sperarum inter chorum s. Dionisij et corpus ecclesie semper bina unam speram concernencia." „Die erste und letzte Darstellung der Reihe (1 u. 10) übernahmen die ideelle Vermittlung mit dem vorausgehenden Zyklus, den vier Weltreichen, und dem folgenden, der Zeit der Herrschaft des Kreuzes Christi und der Kirche, welchen wir im Mittelschiff der Kirche antreffen werden...... Die in der Mitte liegenden Gemälde reihen sich um den Gedanken der Erlösung." Diese zehn Bilder in fünf Kreisen zierten die Decke des westlichen Querschiffes[156].

Im Mittelschiff werden zunächst zwei einzelne Kreise links und rechts genannt. „In Spera sinistri lateris Corporis ecclesie" und „ex opposito huius Spera in dextra parte". Sodann werden Verse zur Darstellung aufgezählt: „in Magno

---

154) Das Dach wurde später, wie deutlich am Nordgiebel zu sehen, nochmals erhöht. Die Neigung des romanischen von 1166 entsprach dem Dreieck der Rundfenster.

155) J. A. Endres, Romanische Deckenmalereien und ihre Tituli zu St. Emmeram in Regensburg. Zeitschrift für christl. Kunst S. 206 ff. Düsseldorf 1902.

156) Endres hingegen schreibt, es sei der erste Zyklus im Querschiffe oder, wie sich die Emmeramer mit Vorliebe ausdrücken, „im Dionysiuschore" gewesen. Vom Platz der zweiten Reihe aber sagt er: Die örtliche Bestimmung „inter chorum s. Dionysii et corpus ecclesie" findet ihre prägnanteste Erklärung in der Annahme, daß die Bilder „die Laibung des weitgespannten Bogens zierten, welcher das westliche Querschiff von dem Mittelschiffe trennt". Damit stimmt auch die Angabe der Münchener Handschrift überein, welche die Bilder als „in ecclesia inferius per transversum ab aquilone ad meridiem" hinlaufend bezeichnet. Es waren keine Deckenbilder, sie befanden sich weiter unten (inferius). — Das ist sicher irrtümlich. Auf der schmalen Bogenlaibung sind diese Bilder undenkbar. Der Ausdruck „per transversum" verweist sie aber auch ausdrücklich ins Querschiff, das häufig transversa domus heißt. Das Wort inferius aber ist mit „weiter hinten" (vom Hauptaltar, summum altare, aus gerechnet) zu übersetzen. Demnach ist auch unter dem Dionysiuschor nur der dem hl. Dionysius geweihte Westchor zu verstehen. Es waren also vier Zyklen (heidnische Vorzeit, Erlösung, Herrschaft der Kirche auf Erden, himmlisches Jerusalem) dargestellt. Hieraus ergibt sich von selbst die Richtigstellung der eingangs nach Endres angeführten Übersicht.

Quadrangulari circulo corporis ecclesie desuper baptisterium, cui signum crucis insertum est", also in einem großen durch ein Kreuz in vier Teile zerlegten Kreise oberhalb des Taufbeckens. Weiter wird ein kleiner Kreis im Mittel des Kreuzes genannt: „spera, que est in medio corporis crucis" und werden vier Halbkreise an den Enden der Kreuzbalken aufgezählt: „dimidia spera que est desuper caput crucis; d. sp. que est ad pedes crucis; d. sp. dextri lateris; d. sp. sinistri lateris". Hierauf erfahren wir wieder von zwei Einzelkreisen: „spera circa organum" und „spera huic opposita in sinistra parte". In aller Klarheit ergibt sich also die schon von Endres beschriebene Anordnung. Endres macht wahrscheinlich, es sei im Mittel der Erlöser ans Kreuz geheftet dargestellt gewesen; ausdrücklich werden eine Reihe alttestamentlicher Bilder genannt, die das Kreuz umgeben, wie der wunderbare Mosesstab und „mystica dona", worunter Endres sich unter anderem die Traube der Kundschafter denkt; endlich eine ganze Reihe von Bildern, deren Zusammenhang unserer Vorstellung etwas ferner liegt. In den vier Eckkreisen waren Josias, Matthäus, Petrus und Paulus abgebildet.



Abb. 41. Gewölbereste über dem Mittelpfeiler und der östlichen Nische der Nordwand der Magdalenenkapelle zu St. Emmeram in Regensburg.

Die Verteilung im Chore weist endlich im Mittel zwei konzentrische Kreise und vier Eckkreise auf. Es ist die Rede von einer „magna Rota chori" und von einer „interiora spera". Wichtig sind die Ortsangaben der vier äußeren Kreise: „spera desuper sacrario in parte sinistra ubi reponitur Sacramentum Eucharistie; Ex opposito huius spera desuper sacristia in dextra parte; in sinistra parte desuper ianuam Chori; in dextra parte desuper alteram ianuam." Doch wollen wir zunächst auf den Inhalt eingehen. Es war die Vollendung der Erlösung im Anschluß an das 7. Kapitel der Apokalypse dargestellt. Im inneren Kreise war das Lamm Gottes auf dem Throne zu sehen, auf dem umgebenden Ring der „status militantis ecclesiae", die streitende Kirche, nach Endres wahrscheinlich in Gestalt der vier von Engeln gehaltenen Winde (Apok. 7, 1). In den vier äußeren Kreisen waren dargestellt das Opfer des Melchisedech, der Sieg Davids über Goliath, das salomonische Urteil, die Versuchung Josephs durch Potiphar. Diese Bilder wiesen auf Christus als Priester, König und Erlöser.[157])

Diese Anordnung der Deckenbemalung steht, worauf Endres ausführlich hingewiesen hat, im engsten Zusammenhange mit der von Swarzenski eingehend gewürdigten Regensburger Buchmalerei.[158]) Es begegnet uns das sogenannte „System der fünf Punkte", wie wir es am entwickeltsten noch im Utacodex sehen, das „Dekorativ-ornamentale System ineinander geschobener Rahmenbildungen, die die Bildfläche in einzelne selbständige Flächen viereckiger oder kreisiger Grundform auflösen, welche die um die Hauptdarstellung im Mittelstück symmetrisch gruppierten Nebendarstellungen aufnehmen und zwischen denen die Grundfläche mit Ornamenten belebt ist" (Swarzenski S. 124). Schweigen auch die Handschriften über das schmückende Beiwerk, so ist doch mit Endres sicher anzunehmen, daß es nicht gefehlt hat. So sind wir wenigstens in großen Zügen über die Monumentalmalerei des alten St. Emmeram noch vortrefflich unterrichtet. Wir verstehen den Ruf, den damals St. Emmeram neuerdings genoß, soferne ein Mönch von hier nach Tegernsee und nach St. Pölten zum Ausmalen der Kirche berufen wird. Klarer als Endres sehen wir nach der oben dargelegten Baugeschichte heute auch bezüglich der Entstehungszeit der eben geschilderten Malerei. Nach dem Alter der Quellen kann nur die nach dem Brande von 1166 entstandene Decke geschildert sein.

Höheres Alter mochten die Apsisfresken besitzen, von denen uns auch noch Nachrichten erhalten sind. Hier war die „Majestas Domini" dargestellt von den vier Evangelistensymbolen umgeben. Man fand also wieder die Fünfteilung. Fresken schmückten ferner die Wände des Westchores mit Darstellungen aus dem Leben des heiligen Dionysius.[159]) Inschriften waren über den seitlichen Choreingängen und am Chorgestühl zu lesen.[160]) Desgleichen an den Wänden über den Zugängen zur Emmeram- bzw. Ramwoldkrypta (Paßler S. 816 u. 817). Endlich wird auch von Glasgemälden im „großen Fenster" des Dionysiuschores und von solchen im östlichen Chore berichtet. Die letzteren werden ausdrücklich auf Abt Peringer zurückgeführt.[161]) Für die auffällige Tatsache, daß wir gar nichts von Wandgemälden im Langhause hören, haben wir schon oben einen Grund wahrscheinlich gemacht.

157) Über den Wortlaut der Verse, die Quellen, die Erklärung im einzelnen vgl. Endres a. a. O.

158) Vgl. Endres a. a. O. S. 304. Weitere Verse „circa altare summum" und „retro summum altare" bei Paßler S. 752.

159) Endres a. a. O. S. 306; Untersuchungen an diesen Wänden in den letzten Jahren konnten aber nur mehr klägliche Reste aus späterer Zeit aufdecken.

160) Endres a. a. O. S. 304.

161) Endres a. a. O. S. 305.

Erhalten und wieder instand gesetzt ist z. Zt. nur die schöne ornamentale Bemalung des Trennungsbogens zwischen Westchor und Querschiff. Dazu kommen noch in der Vorhalle überlebensgroße figürliche Darstellungen in den Viertelskugeln der Portalnischen. Der Wiederherstellung aber harren noch immer die großenteils figürlichen, nur übertünchten romanischen Malereien in den Nischen der Magdalenenkapelle (Text-Abb. 41).

Baugeschichtlich von hohem Belang sind die bei der Beschreibung des Deckengemäldes gemachten Ortsangaben, namentlich soweit sie sich auf die Umgebung des Chores beziehen. Hier wird links ein „sacrarium" genannt, „ubi reponitur Sacramentum Eucharistae", rechts eine Sakristei; aber nicht „rechts vom Chor" kann die alte Sakristei der alten Kirche gewesen sein, wie Endres meint. Als sacrarium und sacristia diente vielmehr damals jenes von Ramwold erbaute Obergeschoß über dem Halbring der Emmeramkrypta, dessen Eingänge links und rechts in der Ostwand des Chores waren (Abb. 8 u. 13 Bl. 5; Text-Abb. 22). Im Nordflügel war ein besonderer Raum als sacrarium abgeschieden; diesem dürfte das größere Fenster zugehört haben, das noch im Plane von 1721 an dieser Stelle zu sehen ist (Text-Abb. 2). Der Südflügel diente als Zugang zur Schatzkammer und als Sakristei, vermutlich aber schon damals — ähnlich wie heute der Raum hinter der Ostwand — als „zweite Sakristei". Die Hauptsakristei ist auch damals an der Stelle der heutigen zu vermuten. Auch die beiden „ianuae chori" werden kaum als „Pforten ins Schiff" der Kirche aufzufassen sein, sondern es sind darunter die auch anderwärts bei Endres schon erwähnten seitlichen Türen in die Nebenchöre zu verstehen. Spätestens seit 1166 sind also die ursprünglichen Bogenöffnungen des einstigen östlichen Querbaues wie heute durch Wände geschlossen. Nebenbei haben wir von einer Orgel anscheinend ziemlich weit vorn rechts im Mittelschiff erfahren. Von besonderer Wichtigkeit aber ist die Erwähnung eines Baptisteriums, eines Taufbeckens, im Mittel des Langhauses. Wir dürfen hierin sicher eine Einrichtung aus der ältesten Zeit der Kirche erblicken. Wie Endres schließt, war also die Klosterkirche ursprünglich auch Pfarrkirche, und die besondere Pfarrkirche St. Rupert wird erst in späterer Zeit entstanden sein. Wir haben schon oben die Vermutung geäußert, daß ähnlich wie bei der Peterskirche in Werden der Gerichtsbau Kaiser Heinrichs des Heiligen auch für Pfarrzwecke gedient haben und daß der von Reginward umgebaute Rest dieser Anlage hierfür noch weiter benutzt werden mochte. Nach 1166 muß aber eine besondere Pfarrkirche St. Rupert und zwar an der heutigen Stelle dieser Kirche bereits angelegt worden sein; dafür spricht, wie wir sogleich sehen werden, der Baubefund der aus jener Zeit stammenden heutigen Vorhalle. Und eine schriftliche Nachricht beurkundet auch wirklich die damalige Erbauung. In einem Nekrologium des 12. Jahrhunderts wird Pezeman aus der Stadt genannt, der St. Rupert erbaut habe.[162])

Die Vorhalle (Abb. 3 Bl. 3 u. Text-Abb. 37). Beim Brande des Jahres 1166 ist anscheinend auch jenes Gebäude gänzlich vernichtet worden, das ursprünglich zu den Nischen des Doppelportales gehörte und seit Reginwards Umbau hauptsächlich als Durchgangsraum und Vorhalle dienen mochte, also der Rest jenes von uns vermuteten Gerichtsgebäudes Kaiser Heinrichs II. Während wir bei der Kirche einen gegen den Bestand vor dem Brande um Turm und östlichen Querbau vereinfachten Wiederaufbau vorfanden, begegnet uns als neue Vorhalle ein großzügig angelegter Entwurf, der den Vorgänger sicherlich weit übertreffen sollte. Es war eine mächtige zweischiffige Halle geplant, die vom Doppelportal anscheinend bis zu den Stufen des heutigen Aufganges am Emmeramsplatze reichen sollte, also bis zum ehemaligen Michaelskirchlein, das auch Abt Peringer erbaut hat. Heute stehen nur die mächtigen ersten vier Joche vor den Portalnischen und noch eine Reihe Halbsäulen in der Westwand des Paradieses. Diese Wand neigt etwas nach auswärts; es wird daher vermutet, sie erzähle noch von dem Einsturz der übrigen Joche, deren Mauertrümmer die Erhöhung verursachen sollen, über die man heute am Emmeramsplatze empor und zur Vorhalle wieder hinabsteigt. So wahrscheinlich diese Sache klingt, Gewißheit können eines Tages nur Grabungen bringen. Fast ein Rätsel ist es aber, daß die heutige Vorhalle überhaupt und bis heute steht. Die Last ihrer sehr schweren Kreuzgewölbe, die noch im Scheitel rund 60 cm stark sind, wird nur gegen Norden statt der einst geplanten Fortführung durch Strebepfeiler abgefangen. Seitlich, zumal nach Westen, muß heute noch die Mauer allein den gewaltigen Schub aufnehmen. Geradezu waghalsig aber hat einst ein Meister der Gotik die heutige Westwand der Rupertuskirche teilweise auf das Gewölbe der Vorhalle übergreifen lassen. Übrigens ist die heutige Vorhalle auch abgesehen von den Nischenportalen keineswegs völlig einheitlich. Sie enthält noch einen weiteren, deutlich gesonderten Mauerkörper, jenen Block mit dem Eingang zur heutigen Rupertuskirche.

Es ist dies ein Quaderbau, der von jeher eine Tür besaß; über deren altes Aussehen ist volle Gewißheit nicht zu erlangen, doch lassen Spuren einer nachträglich teilweise abgearbeiteten Umrahmung eine gelegentliche Erhöhung des Einganges, d. h. des Türsturzes erkennen. Das steht auch im Einklang mit dem nachgewiesenen Wachsen des Fußbodens sowohl in der Vorhalle wie im heutigen St. Rupert. Der fragliche Quaderbau steht schräg zu den Portalnischen und ist auch schräg und ganz unregelmäßig in die Ostwand der Vorhalle eingegliedert. Seine ursprüngliche Zugehörigkeit ist ohne Grabungen schwer zu klären. Es scheint mir am wahrscheinlichsten, dieses Überbleibsel einem ersten Entwurf zu einer Rupertuskirche zuzuschreiben, seine Entstehung also nur ganz kurz vor dem Bau der übrigen Teile der Vorhalle anzunehmen. Noch während der Arbeit mag eine Änderung des Bauvorhabens eingetreten sein, der großzügige Plan der Vorhalle mag die schon begonnene Rupertuskirche beeinflußt haben; man entschloß sich den fraglichen Rest in den Neubau mit einzubeziehen. Jedenfalls darf die merkwürdig verschobene Eingliederung nicht als von je so beabsichtigt gelten; mit einem „nach Art des entwickelten Romanismus in einem Mauervorsprung angebrachten Portale" (Hager S. 5) haben wir es sicherlich nicht zu tun. Daß gleichzeitig mit der Vorhalle an ihrer Ostseite ein Gebäude, also eine Rupertuskirche entstand, das beweist auch noch das offenbar deshalb aus dem Mittel gerückte, ehemalige Fenster im Gewölbefeld oberhalb dieser Mauer.

162) Mon. Germ. hist. tom. III, 312: 25/4 Pezeman urbanus, qui edificavit ecclesiam s. Rodperti (Eintrag des 12. Jahrh.). — Für die gütige Mitteilung dieser bisher nicht verwerteten Stelle wiederhole ich auch hier Herrn Prof. Dr. Endres meinen verb. Dank.

Die Gewölbe der Vorhalle sollten von Freistützen, abwechselnd von einfachen Viereckpfeilern und von solchen mit vierseitig vorgelegten Halbsäulen und von Pilastern mit Halbsäulen an den Wänden getragen werden.[163]) Zwischen den Gewölben sehen wir breite Gurten, an den Wänden Schildbogen; nur überm Doppelportal schneiden die Kappen unmittelbar an, auch fehlt hier im Mittel der Kämpfer. Die Stützen zeigen attische Basen mit Eckknollen, denen wir hier zum ersten Male in St. Emmeram begegnen; die einstmals ziemlich hohen Sockel stecken heute fast ganz im Boden. Die Kapitelle zeigen über einem Halbring als Grundform einen großen Viertelstab, darüber eine verhältnismäßig hohe, durch Rundstäbchen, Platten und Schrägen reich belebte Deckplatte. Sehr abwechslungsreich sind die Kapitelle selbst gestaltet. Der große Viertelstab ist bald mit Fratzen, Blattwerk und Ranken belebt, bald sind darauf Widderköpfe und einfach gefaltete Formen entstanden, bald Schachbrettmuster. Einzelne Stücke sind ganz ohne Zier und deuten damit auf eine Störung des Bauvorganges, nirgends finden wir eine besondere Kunstfertigkeit. Nach dem Kämpferstück in der Südostecke, dem ebenso, wie dem im Südwesteck der Pfeiler fehlt, war ursprünglich beabsichtigt das Kämpfergesims an den Wänden durchlaufen zu lassen. Statt dessen sehen wir die einzelnen Wandfelder in sehr glücklich gewähltem Verhältnis im oberen Teil durch je ein einfaches, rundbogig geschlossenes Langfenster mit stark geschrägten Leibungen gegliedert, im unteren durch eine fünfteilige Blendarkade höchst gefällig belebt. Die kleinen Bogen dieser Arkaden ruhen auf vollrunden Säulen, die attische Basen mit Eckknollen und einfache Würfelkapitelle besitzen. Den Hauptschmuck der heutigen Halle bilden ihre überaus zahlreichen und großenteils sehr wertvollen Grabmale aus der späteren Zeit. Vom großzügigen Wollen des Erbauers können wir uns nur durch Ergänzung des Gesamtbildes eine annähernde Vorstellung machen. Hätte jener Meister den Strebepfeiler gekannt, hätte sein technisches Können seinem Wollen entsprochen, dann besäße St. Emmeram eine der großartigsten Hallen solcher Art, von denen wir überhaupt Kenntnis haben.

3. Kunstgeschichtliche Stellung.

Überblicken wir von den schon besprochenen Gemälden abgesehen die Gesamtveränderung nach dem Brande von 1166, so erkennen wir, daß dieser schwere Rückschlag trotz mancher glücklichen Einzelschöpfung des Wiederaufbaues im ganzen nicht mehr überwunden worden ist. Wir wissen nicht, ob die großzügig gedachte Vorhalle überhaupt jemals fertig geworden ist. Aber selbst wenn dieses Werk gelungen wäre, so hätte es die Vereinfachung des Hauptgebäudes um den Westturm, insbesondere um die gesamte östliche Queranlage nicht wett gemacht. Zumal in seiner Außenwirkung ist St. Emmeram jenes Brandunglück für alle Folgezeit von der stolzen durch Höhe der Vorzeit herabgesunken. Über die Wirkung des damals geschaffenen Innenraumes läßt sich zurzeit noch kein abschließendes Urteil fällen. Hat unsere Vermutung recht und war dann das Langhaus nicht nur nach dem gleichen Gedanken, sondern auch mit dem gleichen Geschick wie die Vorhalle mit Blendarkaden belebt, dann war es für sich ganz gewiß ein gefälliger Bau. Wie sich sein verhältnismäßig großer Formenreichtum aber in den ganz andersartigen Gesamtbau eingegliedert hat, wie er sich mit dem ganz einfachen Ost- und Westchor vertragen mochte, das ist eine andere Frage (vgl. Text-Abb. 22 u. 23). Voll befriedigend kann die Lösung schwerlich gewesen sein. Die Überwölbung der Seitenschiffe war sicher von günstigem Einfluß. Das Spiel ihrer Grate und Gurten und Pfeilervorlagen stand im Einklang mit der reichen Belebung des Langhauses und die gegen vorher etwas geminderte Höhe ließ die Weiträumigkeit des Mittelschiffes, den Schmuck seiner Deckenbemalung um so mehr zur Geltung kommen.

Wichtig scheint mir noch zu betonen, daß diese Gliederung des Langhauses mit Lisenen und Bogen lediglich zur Belebung der Wandflächen diente und keinesfalls die Vermutung zuläßt, es sei etwa ursprünglich an eine Überwölbung des Mittelschiffes gedacht gewesen.[164]) Erst vor kürzerer Zeit hat Gall auf die Wandgliederungen flachgedeckter Basiliken aufmerksam gemacht und dabei mit Recht eine bisher allzu große Neigung zurückgewiesen, in die mittelalterliche Baugeschichte „konstruktive" Erklärungen einzuführen.[165]) Wenn Gall dort die rheinischen, übrigens etwas anders gearteten Beispiele mit normännischen Anlagen vergleicht, so ist dieser Hinweis gerade auch für St. Emmeram wichtig, wo wir zu eben dieser Zeit auch in anderem Zusammenhang einem Einfluß aus solcher Richtung begegnen.

In der Sprache der Einzelformen ist nämlich im Laufe des einen Jahrhunderts seit Reginward ein völliger Wandel eingetreten. Schon v. Quast und Hager haben eine gewisse Vergröberung, um nicht zu sagen Verrohung, festgestellt. Weder die Renaissancebewegung des 11. Jahrhunderts, noch der Überschwang der Weltflucht Otlohs ist fühlbar. Eher ein Einfluß der Hirsauer Schule, die von Anfang an überhaupt weniger dem Schmuck an sich als dem der Antike feindlich war und die in der Zwischenzeit sich allenthalben formenfreudig entwickelt hatte. Dazu ist gänzlich neu die Richtung der Schotten in Regensburg hinzugetreten. Zwischen 1160 und 1180, also eben zur Zeit, da St. Emmeram niederbrannte, bauen ja dort die Schottenmönche ihre erste Kirche zum heutigen, berühmten St. Jakob um. Es ist normännische Kunst, nordische Vorliebe für phantastisch-allegorischen Reichtum an Menschen-, Tier- und Pflanzenornament, an wirr verschlungenem Flechtwerk, was uns zumal das Hauptportal dieser Schottenkirche so wertvoll macht. Doch es muß uns genügen, hier dieses Denkmal nur zu nennen, das in „Regensburg fast alle gleichzeitigen Umbauten und Neuanlagen dieser Zeit" (Wagner S. 63) beeinflußt hat. So sagt Wagner denn auch von der Vorhalle St. Emmerams, sie zeige „so recht die Mischung des Elements der Hirsauer Bauschule und das Eindringen der neuen (schottischen) Ornamentik nebeneinander" (S. 64). Den Einfluß St. Jakobs auf die Kapitellbehandlung der Vorhalle und auf die vereinzelte Ornamentik der Lisenenkapitelle im Langhaus hat auch Hager schon betont (Hager S. 11). Die Tierköpfe am Westgiebel verraten die gleiche Spur, und Wagner hat auch gezeigt, daß die

163) Auf diese Art Stützenwechsel hat zuerst Pohlig aufmerksam gemacht, S. 15.

164) Walderdorff S. 312; vgl. auch Hermann Graf, Altbayerische Frühgotik S. 7. München 1918.

165) Ernst Gall, Niederrheinische und normännische Architektur im Zeitalter der Frühgotik S. 9. Berlin 1915.

Gliederung des Mittelpfeilers der heutigen Vorhalle, der Viereckpfeiler mit allseitig vorgelegten Halbsäulen, an einem Wandpfeiler auf der Westempore St. Jakobs schon erstmalig vorkommt (S. 64). Um so auffälliger ist es, daß der Gedanke der Blendarkaden, den wir in der Vorhalle sehen und im Langhaus vermuten, bisher nicht ebenfalls mit St. Jakob in Beziehung gebracht worden ist. Daß die Säulchen dieser Blendarkaden der Vorhalle einfache Würfelkapitelle tragen und keinerlei sonstige Zier besitzen, ist doch weit weniger wichtig als der Grundgedanke der ganzen Anordnung. Eben diesen aber finden wir über dem Hauptportale von St. Jakob wieder. Die dortige „Gliederung der Wandfläche durch Arkaden" ist darum keineswegs „das einzige derartige Beispiel in Regensburg, das man den sonst im romanischen Stil so beliebten Zwerggalerien gegenüberstellen könnte" (Wagner S. 51). Weit ausgeprägter finden wir vielmehr die Blendarkade noch heute gerade in unserer Vorhalle, und in glücklicher, die Anregung von St. Jakob weit übertreffender Fortbildung schmückte sie einst, wenn wir uns nicht täuschen, die Hochwände des Langhauses als Vorläufer einer Triforiengalerie.[166]) An Hirsau erinnert das bekannte Schachbrettmuster dieser Schule, das wir an einem Kapitell der Vorhalle sehen. Ein Werkstück mit gleichem Schmuck von einem inzwischen verschwundenen Bauteil ist in der Hochwand der Rupertuskirche vermauert, wie im Dachraum über dem Gewölbe ihres Seitenschiffes zu beobachten ist. Auch die Abstufung des Gewändes am Eingange zu dieser Kirche aus der Vorhalle und die Spuren des ursprünglich daran herumgeführten Sockelgesimses deuten auf Hirsauer Herkunft. Endlich zeigt der Plan des Mausoleums von 1680 am ersten Pfeilerpaar der Arkaden in der Emmeramskirche westlich des Chores Halbsäulen, die ins Mittelschiff vortreten (Text-Abb. 6, auf Text-Abb. 22 nicht berücksichtigt). Sie finden sich nur an dieser Stelle und dürfen vielleicht ebenfalls mit einem Einfluß der Hirsauer Schule erklärt werden. Wenn sie nämlich nicht etwa erst später zur Aufstellung irgendwelcher Heiligenstandbilder angebracht worden sind, wenn sie vielmehr schon irgendwie der ursprünglichen Architektur des Langhauses eingegliedert waren, dann könnten sie aus dem gleichen Grunde entstanden sein, aus dem wir bei den Hirsauer Säulenbasiliken westlich der Vierung als nächstes Stützenpaar häufig Pfeiler statt Säulen antreffen. Der ursprüngliche architektonische Zweck, daß diese Pfeiler den Osttürmen der Hirsauer Kirchen kräftigere Stützen, als das Säulen vermochten, geben sollten, wurde in späterer Zeit häufig hinter dem rein liturgischen vergessen; nach diesem hatten die Pfeiler und der sie ursprünglich verbindende Schwibbogen den „kleinen Chor", minor morus, zu begrenzen, der sich unmittelbar westlich an den „großen Chor", Major morus, unter der Vierung anschloß.[167]) Sank also schon dieser Stützenwechsel zum rein formalen Trennungsmerkmale herab, so konnte bei einer Pfeilerbasilika die gewünschte Abgrenzung des kleinen Chores auch durch die Vorlage von Halbsäulen angedeutet werden. Doch sei auf diese Einzelheit kein Gewicht gelegt. Daß übrigens St. Emmeram — wie wir oben sahen, ein Ausgangspunkt der Hirsauer Schule — in späterer Zeit auch mit Hirsau verbrüdert war, hat uns Paßler ausdrücklich überliefert.[168])

Endlich sei zur Zeitbestimmung der eben besprochenen Bauteile auch nochmals der Steinmetzzeichen am letzten südlichen Arkadenbogen gedacht; auch St. Jakob weist Steinmetzzeichen auf. St. Emmeram zählt somit wie diese Schottenkirche, wie die steinerne Brücke (1135 bis 1146) und ein Teil des sogenannten Römerturmes zu den frühesten Beispielen, an denen bisher solche Zeichen in Regensburg wahrgenommen wurden.

Nachtrag zu **II.** Teil, **III.**

Weitere Stützpunkte meiner Mutmaßung, daß die Doppelnischen und der Heinrichstuhl Reste einer ehemaligen Gerichtstätte darstellen, verdanke ich dem wertvollen Hinweis der Schriftleitung auf die Abhandlung von F. Prieß in der Zeitschrift für Bauwesen (Jahrg. 1916 S. 327 ff.): Der Gerichtsplatz der Venetianer an der Markuskirche und verwandte Anlagen.

Prieß weist da den Platz der späteren Kapelle St. Zeno an der Südwestecke der Markuskirche als die ehemalige, noch heute u. a. durch ein Greifenpaar gekennzeichnete Gerichtstätte Venedigs nach, die sich einst seitlich des Haupteinganges der Kirche als geräumige Halle gegen die Piazetta geöffnet hat, und er läßt als Beleg „für den Sitz des Richters innerhalb eines weiten Bogens, der hallen- oder laubenartig ausgebildet ist" und für „die Vereinigung dieses Bogens mit einem Bannsteine oder einer Bannsäule sowie mit den kennzeichnenden Gerichtslöwen oder Greifen" eine Reihe verwandter Anlagen folgen.

Als erstes Beispiel wird die Vorhalle der heutigen St. Gereonkirche in Köln genannt; hier haben nicht nur Nachrichten die Erinnerung wach gehalten, bis 1794 war vielmehr auch die alte Gerichtsäule in einer Nische erhalten gewesen, und noch heute sehen wir zwei mittelalterliche Löwen; deren Bedeutung aber hat Prieß ebenso überzeugend aus ihrer Haltung und Gebärde wie aus einer Stelle erklärt, die sich im Reinardus vulpes, der ersten lateinischen Fassung der alten deutschen Tiersage, findet. Der eine Löwe legt schützend die Pranken um ein friedlich ruhendes Lamm, der andere hat mit seiner Tatze grimmig ein Opfer niedergeschlagen. In der Tat kann das wohl nur versinnbilden, was auch die Tiersage andeutet, wenn sie erzählt, daß die Säule zu St. Gereon zweierlei Art besitze, je nachdem ein Gerechter oder ein Übeltäter an sie herantrete, also die schirmende und die rächende Gerechtigkeit.

Eine ähnliche Anordnung einer Gerichtsvorhalle oder Gerichtslaube vor einer Kirchentüre findet sich am Portale von St. Zeno in Verona und am dortigen Dome, an der Pfarrkirche in Bozen, an den Domen in Trient und Trau, an den Löwenportalen in Modena und Ferrara, an den Prachtportalen von St. Trophime in Arles und dem ihm benachbarten St. Gilles. Überall sehen wir da Löwen, wenn auch

---

166 Auch zu St. Jakob waren die Blendarkaden nicht ursprünglich an der Außenwand gedacht, da ja das ganze Portal die Rückwand einer Vorhalle bilden sollte; vgl Wagner S. 51 u. 70.

167) Vgl. Mettler, Die zweite Kirche in Cluny und die Kirchen in Hirsau nach den „Gewohnheiten" des XI. Jahrhunderts in „Zeitschrift für Geschichte der Architektur", IV. Jahrg., S. 2 ff. In Hirsau hieß der „kleine Chor" auch „maiori choro inferius adiunctus".

168) Paßler S. 1585: Denique cum S. Wilhelmo Abbate Hirsaugiense ex nostro illuc postulato et Monasterio illius circa annum 1080 eadem nobis fuit confederatio, quae quidem, ut in humanis stabile nihil est, saepius remissa, in oblivionem data, saepius etiam renovata . . . fuit . . .

nicht immer mit gleich scharfer Prägung der ihnen unterschiedlich zugedachten Versinnbildung; häufig treten noch weitere Hinweise auf den Gerichtsplatz hinzu, wie der Sündenfall, das salomonische Urteil, die Strafe Absaloms; als besonders naheliegend wird gern auch das jüngste Gericht gewählt. Den Brauch, Gerichtsitzungen im Tore abzuhalten, nennt Prieß ebenso eine germanische und besonders ostgermanische wie auch eine altorientalische Sitte, auf die auch die Bibel nicht selten Bezug nimmt.

Für die Deutung der Anlage zu St. Emmeram scheint mir von diesen Ausführungen nicht nur der Nachweis der offenbar einst weit verbreiteten Sitte belangreich, die Gerichtsitzungen gerade am Kirchentore abzuhalten, sondern auch eine Reihe von Einzelheiten. Wenn Prieß in einer Anmerkung erwähnt, es seien bei allen geschilderten Kirchentüren auch Nebeneingänge vorhanden, welche die Kirche auch während der Gerichtsitzung zugänglich erhielten, so gilt das für St. Emmeram zwar nicht für die spätere Zeit, aber jedenfalls für die ursprüngliche Anlage, solange nämlich der Haupteingang noch durch das westliche Atrium führte; damals war, ähnlich der alten Anlage an der Markuskirche Venedigs, das Gerichtsgebäude seitlich als ein selbständiger Bauteil angegliedert, wenn wir auch über die Einzelheiten der ursprünglichen Verbindung vorerst noch im Unklaren sind. Daß sich in St. Emmeram ein besonderer Hinweis auf die Gerichtstätte im Weltenrichter auf dem Steinbild des Mittelpfeilers erblicken läßt, ist schon angeführt worden; aber auch die Gerichtslöwen, die Prieß als besonderes Merkmal hervorhebt, haben nicht gefehlt. Wir dürfen sie offenbar in den Löwen am Heinrichstuhl erkennen, in den Tiergestalten, die den Richtersitz tragen (vgl. Text-Abb. 42). Treffend erinnern sie so an die auch von Prieß angeführte Stelle der alten deutschen Gerichtsordnung, die sagt: „Es soll der Richter auf seinem Richterstuhl sitzen wie ein griesgrimmiger Löwe...." Freilich sind die Bildwerke allzusehr verstümmelt, als daß sich die anderwärts häufig beobachtete unterschiedliche Darstellung der strafenden und der beschützenden Gerechtigkeit ablesen ließe; nur daß der linke Löwe mit der rechten Tatze etwas niederhält, ist noch zu erkennen. Nun gilt der Löwe, der König der Tiere, allerdings auch ganz allgemein als Hoheitszeichen und mag sich schon deshalb häufig gerade an Eingängen finden; Löwen finden sich außerdem auch an der mit dem Heinrichstuhl oft verglichenen bischöflichen Kathedra im Dome in Augsburg; gleichwohl möchte ich im Zusammenhalt mit allen übrigen Anzeichen den Löwen des Heinrichstuhles die besondere Rolle der Gerichtslöwen zuerkennen und in dieser Bedeutung einen weiteren Hinweis auf die einstige Gerichtstätte erblicken.

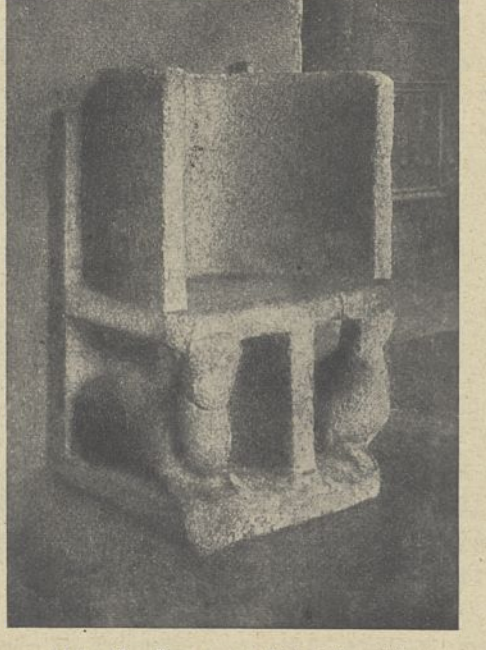


Abb. 42. Der sog. „Heinrichstuhl" in St. Emmeram in Regensburg.

Wichtig scheint es mir endlich, noch einiges von Prieß' Bemerkungen über den Gerichtsplatz des oben erwähnten St. Gereon anzuführen; in Übereinstimmung mit Rahtgens im Denkmälerwerk der Stadt Köln (Düsseldorf 1911) spricht er nämlich dem ältesten Teil dieser Kirche, dem von Halbkreisnischen eingefaßten, von einem unregelmäßigen Zehneck umschriebenen, länglichrunden Erdgeschoß, den früher vermuteten römischen Ursprung ab und ist geneigt, den höchst seltsamen Nischenbau der frühen Merovingerzeit zuzuschreiben, den zeitweilig in Köln hofhaltenden fränkischen Königen. Nun ist aber auch unser als Rest eines Gerichtsgebäudes bei St. Emmeram angesprochener Bauteil solch ein seltsamer Nischenbau! Wir haben zwar oben die Auffassung Pohligs abgelehnt, als möchten diese Nischen einen Rest des karolingischen Sindbertbaues darstellen, und haben diese Nischen vielmehr für die Zeit Kaiser Heinrichs II. wahrscheinlich gemacht; aber es soll doch auch nochmals gesagt sein, daß sich, zumal ohne Grabungen, Endgültiges in dieser Frage kaum bestimmen läßt. Auf die zeitliche Einreihung des Nischenbaues von St. Gereon durch Rahtgens und Prieß aber sei auch bezüglich jener Mutmaßungen hingewiesen, die ich im Abschnitt über die Bauvornahme Reginwards im besonderen über die Erbauungszeit von St. Stephan in Regensburg ausspreche.

Schlußwort.

Mit der Schilderung des Wiederaufbaues nach 1163 sind wir zu jener Stufe der baulichen Entwicklung der Kirche St. Emmeram gekommen, welche bis zum Brande des Jahres 1642 im großen und ganzen unverändert bestanden hat. Unser Ziel, den ältesten Bestand und seine frühen, grundlegenden Änderungen nachzuweisen, haben wir somit erreicht. Wir haben eine ungemein lebhafte Bautätigkeit innerhalb dieses ersten Halbjahrtausends der Kirche gefunden, eine Tatsache, die auch die Überlieferung festgehalten, wenn auch sinnstörend entstellt hat. So schreibt doch Janner (I. S. 123, Anm. 1), es sei ausdrücklich berichtet, daß der von Karl dem Großen „begonnene Neubau der Hauptsache nach bis in die Zeit Barbarossas gedauert habe." So war es allerdings nicht, wir haben bei genauem Zusehen einzelne Bauabschnitte noch deutlich unterscheiden können (vgl. Text-Abb. 5).

Manche wichtigen Fragen sind freilich noch offen geblieben, ihre Beantwortung soll einer späteren, eines Tages wohl sicher zu erwartenden Gesamtdarstellung vorbehalten bleiben. Dazu zählen u. a. die wichtigen Fragen über die Mauertechnik der einzelnen Bauabschnitte. Ohne tiefere Eingriffe hätten wir diese Frage heute doch nicht erschöpfend behandeln können; so haben wir sie nur gelegentlich gestreift. Eine Gesamtdarstellung wird insbesondere auch die bisher arg vernachlässigten Klostergebäude umfassen müssen. Auch der wundervolle, schon der Übergangszeit angehörige Kreuzgang wird dazu gehören. Von diesem sind sehr gute Darstellungen schon vorhanden[169]), so daß wir ihn hier

169) Hager u. O. Aufleger, Mittelalterliche Bauten Regensburgs.

um so leichter übergehen durften. Einer weiteren Prüfung bedürfen die Nachrichten von einer großen Anzahl heute fast völlig verschwundener Kapellen in nächster Nähe der Kirche und des Kreuzganges, desgleichen die Schicksale der mit St. Emmeram verwachsenen Kirche St. Rupert. Ob der heutige, getrennt stehende Glockenturm aus dem späten 16. Jahrhundert schon einen romanischen Vorläufer hatte, ist gleichfalls noch eine offene Frage. Mit besonderer Spannung aber muß die Beantwortung jener Fragen erwartet werden, die unmittelbar die Baugeschichte der Kirche berühren und die nur durch Grabungen gelöst werden können.

Vielleicht wird dann eine oder die andere der dargelegten Vermutungen zu berichtigen sein. Am Hauptergebnis dieser Untersuchungen aber wird das kaum viel ändern. Unser Bestreben war, gerade die ältesten Teile der Kirche St. Emmeram und ihre entwicklungsgeschichtlich so überaus wichtigen Beziehungen aufzudecken, und das Ergebnis ist schon heute überraschend reich. Manche bisherige Lücke konnte ausgefüllt, manches Mißverständnis geklärt werden. Eine Menge neuer Fragen ist aufgeworfen. — Widerspruch im einzelnen wird vielleicht nicht fehlen. Möge er dann dazu helfen, daß mit größerem Erfolge als bisher gerade auch die frühmittelalterliche Blütezeit Regensburgs durchforscht werde; denn hier warten noch viele Rätsel. Noch ist vor allem die alte Kathedrale in Schutt begraben! Möge die Zeit bald kommen, da Regensburg, einstmals als das „Aachen der deutschen Karolinger", die Hauptstadt des Reiches und, um das bekannte Wort Berthold Riehls zu gebrauchen, „Bayerns mittelalterliche Kunsthauptstadt", da dieser denkwürdige Platz endlich allgemein in seiner ganzen Bedeutung erkannt und in seinem alten Reichtum vollends erschlossen werde!

Wenn es der vorliegenden Arbeit beschieden sein sollte, dieses Ziel näher zu bringen zunutz der Wissenschaft, zur Klärung des frühen altbayerischen Kunstschaffens und nicht zuletzt zum Ruhme seiner frühesten Pflegestätten, der frühmittelalterlichen Klöster, dann wäre das zugleich der beste Dank, den ich meiner Vaterstadt für die viele Freude beim Forschen in ihrer so reichen Vergangenheit abstatten könnte, zugleich auch mein bester Dank für alle Unterstützung, die mir dabei zuteil geworden ist.

Über das Schloß in Stettin.

(Mit Abbildungen auf Blatt 21 bis 24 im Atlas.)

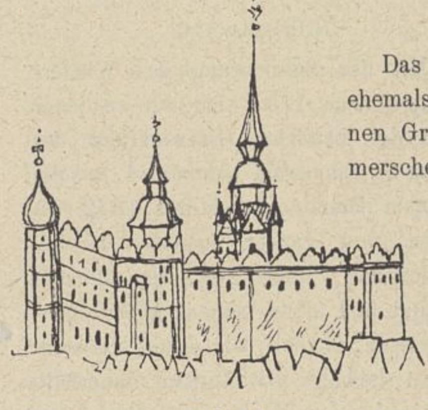


Abb. 1.
Schloß in Stettin im 16. Jahrhundert.
(Durchzeichnung eines alten Stiches von 1833. Nach einem alten Gemälde in Seeglers Haus, gez. von Friedr. Lübcke.)

Das Schloß in Stettin gehörte ehemals dem 1637 ausgestorbenen Greifengeschlecht der Pommerschen Herzöge. Es hat von seiner Gründung an bis auf den heutigen Tag mannigfache Wandlungen durchgemacht. Ursprünglich stand auf seiner Stelle eine Burg; erst im Jahre 1346 begann nach dem vollständigen Umschwung aller Verhältnisse, wodurch Stettin aus einer Wendenstadt eine deutsche geworden und das Christentum über die alten slawischen Götter gesiegt hatte, Barnim III. den Schloßbau, der sich zunächst auf einige wenige Gebäude beschränkte; die Nachfolger Barnims: Kasimir und besonders Bogislav X. — nach 1503 — Barnim XI., Johann Friedrich, Herzog Philipp II. und Franz I. vergrößerten die Anlage allmählich, bis sie ungefähr die heutige Größe hatte und aus fünf Flügeln, einschl. der Schloßkirche, bestand, welche sich um einen sehr großen und einen etwas kleineren Hof gruppieren. Genauere Angaben zur Baugeschichte des Schlosses mit Abbildungen und Zeichnungen sind zusammengetragen in „Die Bau- und Kunstdenkmäler des Regierungsbezirks Stettin von Hugo Lemcke.[1]) Eine Anzahl von älteren und neueren Abbildungen, meist nur des obersten Teils der Schloßaußenfronten mit dem Fange-, dem Uhr- und dem Schloßkirchturm, sind vorhanden, aber leider fehlt den älteren und zum Teil auch den neuesten die völlige Treue der Wiedergabe der trotz aller Beseitigung vieler gewiß reizvoll gewesenen architektonischen Glieder immerhin noch wirkungsvollen Ansichten der Fronten des umfangreichen Gebäudes; auch verhindern die eng um das Schloß auf der West-, Süd- und Ostseite herumgebauten zum Teil hohen Häuser den völligen Überblick über die große Bauanlage in unerwünschter Weise. In der hier beigefügten Wiedergabe einer Schloßansicht etwa aus dem Ende des 16. Jahrhunderts (Text-Abb. 1) — das leider angeblich schon unrichtig übermalte Originalgemälde befindet sich in dem Seeglerschen Hause in Stettin — wird man das alte Schloß kaum wiedererkennen; Zierlust und Phantasie haben offenbar hier ein recht verkehrtes Bild der Ost- und Südfront und der Türme geschaffen. Ganz wesentlich wahrheitsgetreuer erscheint die Darstellung der Nord- und Ostfront, des Daches des Südflügels, des Schloßkirchturmes und des Uhrturms am Südflügel im großen Schloßhof auf einem Gemälde etwa aus dem Jahre 1827 (Text-Abb. 2), nach einem Ölbild von Dessow; der Fangeturm ist nur zum

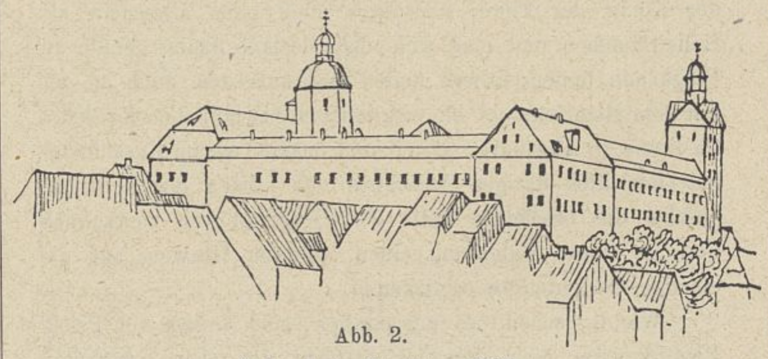


Abb. 2.
Schloß in Stettin, 1827.
(Nach einem Ölbild in gleichem Maßstab gepaust.)

1) Heft XIV, Abt. 1. Das Königliche Schloß in Stettin. Stettin 1909.

kleinsten Teile neben dem Uhrturm über dem Mansardendach des Südflügels zu sehen. — Die Gemälde der Text-Abb. 1 u. 2 befinden sich im Stettiner Stadtmuseum. Text-Abb. 2 ist bis auf die unrichtig eingezeichneten Fensteranlagen im allgemeinen richtig, wie sich dies großenteils durch Akten im Staatsarchiv beweisen läßt. Leider fehlte jenen Darstellern ein Wiedergabemittel, das der Neuzeit schon die vortrefflichsten Dienste leistete, das Lichtbild. Wenn auch der Wahrheitsliebe der Maler durch die Wirklichkeit entstellende Abbildungen, in denen unnötig viel verschönern wollende Malerphantasie steckt, kein gutes Zeugnis ausgestellt wird, so erscheint doch das Bestreben, dem Publikum „ein recht schönes Bild" zu bieten, da das Wirkliche nicht schön genug schien, persönlich genommen und handelszwecklich begreifbar. Heutzutage aber, wo das Lichtbild die Ansicht richtig und mit allen Schönheiten des Gegenstandes, allerdings auch seinen Mängeln wiederzugeben vermag, ist ein solches Bestreben, zu verschönern, etwas gewagt. Sicher nicht empfehlenswert aber ist es nunmehr, daß Werkverfasser an Stelle freilich nicht ganz leicht herstellbarer Lichtbildaufnahmen recht flüchtige Handzeichnungen zur Veröffentlichung bringen, die in ihnen selbst und in Laien die Vorstellung der gänzlichen Minderwertigkeit von Architekturen erwecken können, und diese Architekturen mit ungerechtfertigt hartem Urteil abtun, wie dies an einigen Stellen im vorgenannten Werke von Lemcke geschehen ist. Ein ähnlich hartes Urteil über die Schloßarchitektur findet man auch bei Ludwig Brüggemann, Königl. Preußischer Konsistorialrat und Hofprediger in Stettin, in seinem Werke über den damaligen Zustand des Königl. Preußischen Herzogtums Vor- und Hinterpommern I. Teil von 1779. Man vermochte auch wohl bei der ungepflegten äußeren Erscheinung der Schloßfronten deren immerhin vorhandenen architektonischen unbestreitbaren Wert nicht anzuerkennen. — Ein Vergleich z. B. der Federskizzen Fig. 17 auf S. 40 und Fig. 13, S. 35 erstgenannten, sonst so verdienstvollen Werkes mit der stimmungsvollen Lichtbildaufnahme auf S. 29 der Festschrift zur Einweihung des neuen Regierungsgebäudes in Stettin von 1911 (gedruckt bei Hermann Saran in Stettin),[2]) läßt dies ersehen. Architektur darf, wie ihr lebendiges Gegenspiel, die Musik, nur gut wiedergegeben werden, sonst wird man ihr nicht gerecht. Ein vollständigeres Bild vom Schlosse hat uns Merian hinterlassen (Text-Abb. 3), eine Vogelschau vom Zustand des Gebäudes im Jahre etwa 1650. Sie zeigt, daß der mächtige Bau — sein Umfang in gerader Linie im Sockel gemessen beträgt zurzeit rd. 1000 m — im allgemeinen von seinem damaligen architektonischen Formenreichtum sehr verloren und ein wesentlich schlichteres Gepräge erhalten hat; doch haben schon einige Zutaten neuerer Zeit, z. B. in der Nordfront des Nordflügels der Prunktreppenbau in der Mitte und der Fahnenturm an der Nordostecke die Massenwirkung nicht wenig gebessert. Verschwunden sind jetzt die von Merian noch gezeichneten großen Renaissanceziergiebel auf dem Südflügel, die großen Dachluken auf dem Münzflügel, die an allen Hoffronten befindlich gewesenen z. T. zwei- oder dreigeschossigen, nach Aktenausweis nicht mit Dächern versehen gewesenen Galerien, die ganze Architektur des Südflügels bis auf den Uhr- und den Fangeturm. Ersterer zeigt aber ebenfalls nach dem Einbauen einer neueren, etwas sehr zierlichen, fast mageren eisernen Treppe zu dem neuen Flügelaufbau auf dem stehengebliebenen zweischiffigen Kellergeschoß eine starke Architekturänderung; letzterer hatte ein spätgotisches Gepräge,

Abb. 3. Das herzogliche Schloß in Stettin um die Mitte des 17. Jahrhunderts.
(Nach dem Kupferstich in Merians Topographie.)

2) Vgl. auch Zeitschrift f. Bauwesen, Jahrg. 1914, Seite 1.

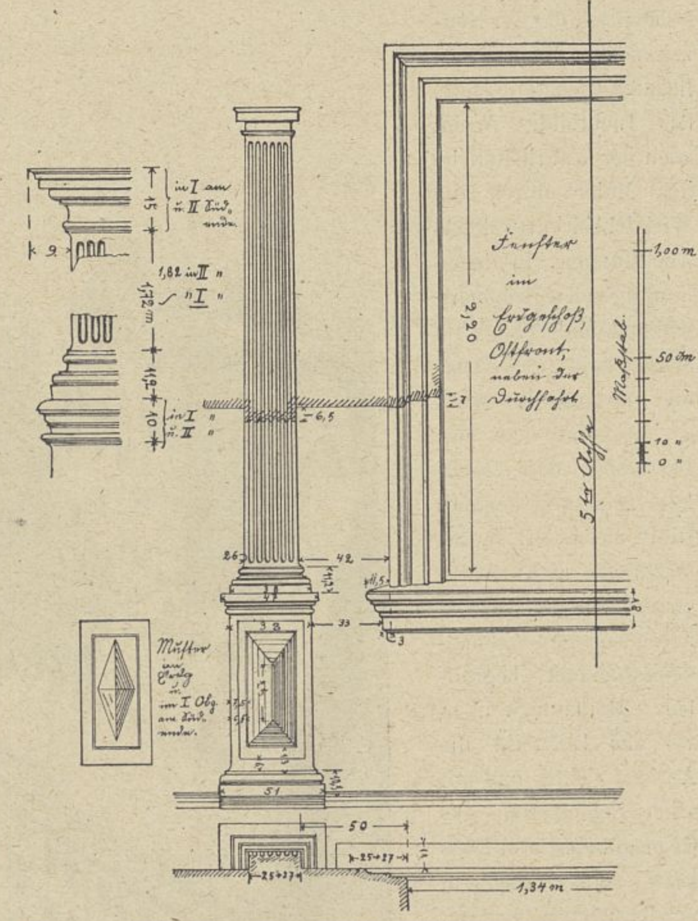
das ihm an der Pelzerstraße durch Aufdeckung eines Teils der spätgotischen, alten Arkaden (Text-Abb. 7) in neuester Zeit teilweise wiedergegeben worden ist.

Verschwunden ist auch die Galerieverlängerung vom Südflügel nach dem alten Treppenturm des Mittelflügels hin und ein scheinbar daran nach Süden liegender überdachter Verbindungsgang, den auf den ersten Blick die in diesem Punkte etwas undeutliche Darstellung Merians vermuten läßt. Die Galerieverlängerung ist sicher richtig angegeben; ihre Achse führt genau auf die Treppenturmachse, der scheinbare Verbindungsgang daneben aber ist unmöglich, weil er mit seiner Achse gerade auf den Querschnitt der südlichen Treppenturm-Umfangswand trifft. Die Zeichnung kann also nur so ausgelegt werden, daß die Galerie nach Norden zu ein eisernes Geländer und nach Süden ein gemauertes mit fünf Nischen oder Durchbrechungen hatte und das scheinbare Dach darauf als ein Stück der im Schatten liegenden Hoffläche anzusehen ist. Es sitzen an der ersten Fensterachse, vom Treppenturm aus nach Süden gezählt, im ersten und zweiten Geschoß noch je zwei Pfeiler mit Sockel zu beiden Seiten der beiden Fenster an der Außenfront und im Erdgeschoß zwei desgleichen größere an der dritten Fensterachse (Abb. 1 Bl. 21 und Text-Abb. 5 u. 8). Hier muß die Galerie dreigeschossig gewesen sein, wie eine Ansicht der östlichen Mittelflügelfront aus dem Jahre 1830 etwa beweist, wo noch an der Südseite zwei Anschlußpodeste der Galeriestockwerke erkennbar sind. Die Pfeiler flankierten offenbar die ursprünglich hier vorhanden gewesenen Türen auf die Galerie. In derselben Mittelflügelostfront finden sich noch zwei solche Pfeiler erhalten, zu den Seiten des fünften Erdgeschoßfensters vom Treppenturm nach Norden gezählt (Abb. 1 Bl. 21), und in der Westfront am Münzhof über der Durchfahrt ebenfalls zwei Pfeiler, zu beiden Seiten der hier noch vorhandenen Ausgangsöffnung auf die Galerie (Text-Abb. 6); die Öffnung ist an der inneren, der jetzigen Flurseite, zugemauert. Die Galerie an der Westseite muß also hier mindestens zweigeschossig gewesen sein, und zwar so, daß ihre oberste Abdeckung den Laufgang für das zweite Obergeschoß des Gebäudes bildete. Es ist dies der Flügel, den zu einem Teil im Anfang des 19. Jahrhunderts die Prinzessin Elisabeth bewohnte, während im übrigen Flügelteile hauptsächlich das Oberlandesgericht seinen Sitz hatte. Ferner sind noch zwei Galeriepfeiler vorhanden in der Südfront des Nordflügels, neben der Schloßkirche, dem sogenannten Corps de logis, an ähnlicher Ausgangsöffnung wie am Mittelflügel in dessen Westfront; die letztere Öffnung ist aber nicht vermauert, sondern vom Podest der dahinter liegenden Haupttreppe aus zugänglich und am großen Hof mit einem eisernen Geländer abgeschlossen (Abb. 2 Bl. 21). Die Öffnung liegt über dem Doppelportal zum Treppenhaus, und zwar über der nördlichen Tür in der fünften Fensterachse von der Kirche an nach Osten gezählt.

Bemerkenswert ist die Schattengebung in Merians Bild (Text-Abb. 3). Er zeichnet den Schatten so, als wenn die Galeriepfeiler und Bögen am Mittelflügel frei ständen und nicht von diesem beschattet würden; anscheinend wollte er damit die Deutlichkeit der Darstellung heben. Denselben Kunstgriff wendet er noch bei verschiedenen Stellen seines Bildes an, z. B. auch beim Oberbau des Schloßkirchturms; die wuchtige Erscheinung dieses Turmes hat Merian nicht entfernt zum Ausdruck gebracht;



Abb. 4. Ostflügel. Spuren der alten Bedachung an der inneren Seite der Westattika.



Grundriß eines Fensters (erste Achse südlich des alten Treppenturmes im ersten Obergeschoß).

Abb. 5. Von der Ostfront des Mittelflügels.



Abb. 6. Westfront des Mittelflügels.

seine begehbaren flachen Dächer auf dem Ost-, Nord- und Mittelflügel sind Phantasie; die Akten sprechen allerdings von Galerien auf den Dächern, es können aber damit nur die schmalen Gänge gemeint sein, die zwischen den Attiken und Traufkanten der Ziegeldächer lagen und als Rinnen ausgebildet waren. Die Akten berichten weiter auch, es seien

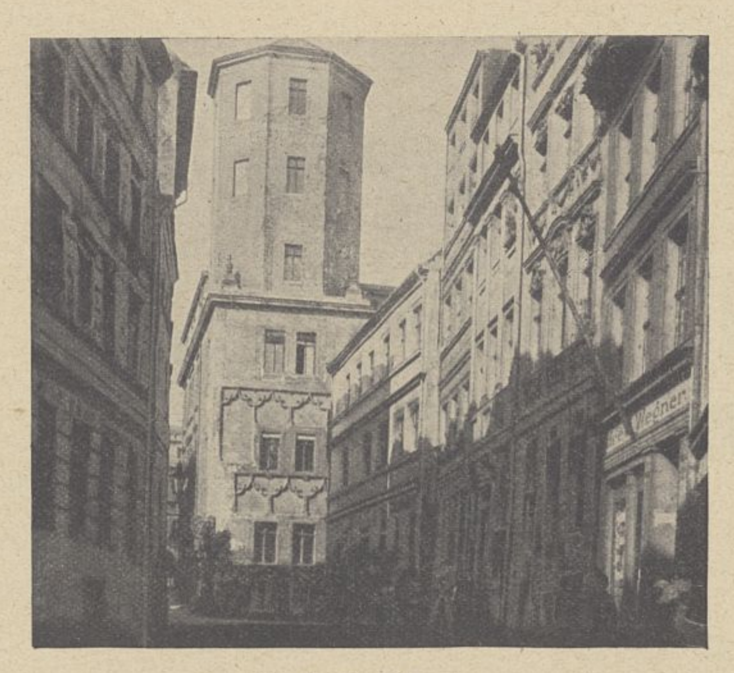


Abb. 7. Der Fangeturm.

auf den Schloßhauptflügeln anfangs flache, italienische Zeltdächer gewesen, welche quer gelegen hätten, also oblonge Grundform hatten und mit der längeren Seite über die Flügeltiefe hinweggingen; die Zahl dieser flachen Dächer wird nicht näher angegeben, eine Zeichnung davon ist wohl nicht mehr

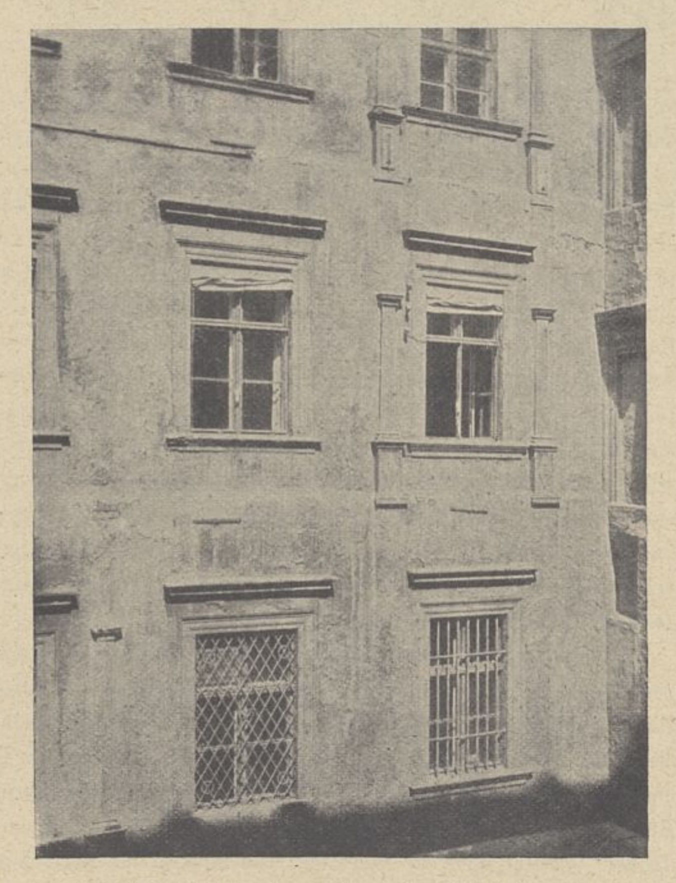


Abb. 8. Von der Ostfront des Mittelbaues.

vorhanden. Es erscheint nicht unmöglich, daß diese merkwürdige Ausbildung der Dächer (Text-Abb. 4) bei Merian zur Annahme ebener Dächer geführt hat, war doch mindestens eine vermehrte Begehbarkeit in der Ebene am Zusammenstoß der Dachtraufen, die einfache Rinnen sein mußten, als vorhanden anzunehmen. — Erst später wurden aus diesen unzweckmäßigen Zeltdächern deutsche Ziegeldächer.

Die Galerien sind wohl anfangs durchweg zweigeschossig auf ihrem Pfeiler-Erdgeschoßunterbau gewesen und als Laufgänge insbesondere für die Dienerschaft zu denken neben dem zuerst nicht mit Fluren versehen gewesenen Nordflügel (Kirche und Corps de logis), dem linken, jetzigen Ostflügel, dem rechten, jetzigen Mittelflügel und dem Südflügel; ihre Dachlosigkeit, die damalige Unmöglichkeit, solche frei dem Wind und Wetter innen und außen schutzlos preisgegebenen Bauten wetterfest herzustellen, führte zu ihrem Verfall, ihrer völligen Beseitigung und der Anlage von langen Fluren in den genannten Flügeln (mit Ausnahme des Nordflügels), die, ursprünglich im Keller zweischiffig angelegt, wie noch heute, über diesem ein- oder zweischiffige Räume hatten. Zurzeit hat der Mittelflügel einen langen westlichen Seitenflur, der bis an die durch die Gebäudetiefe hindurchgehenden Giebelräume reicht; in ihm befindet sich das Oberlandesgericht mit Justizhauptkasse, Bücherei und Druckerei. — Im Süd- und im Ostflügel liegen die Flure in der Mitte, 2,20 und 1,60 m i. L. breit. — Im ersteren sind im Erdgeschoß die Küchen und die Kastellanwohnung, darüber das Oberpräsidium, dessen Neubau der unselige Weltkrieg noch nicht beginnen ließ, und darüber das Provinzialschulkollegium, im Dachgeschoß der ehemals im Erdgeschoß des alten Bogislavsbaues befindlich gewesene, mäßig wieder hergestellte Festsaal der Herzöge mit seiner vortrefflich geschnitzten alten gotischen Balkendecke (Abb. 3 u. 4 Bl. 22 und Text-Abb. 10 bis 12) und Bodenraum zum Teil für den Oberpräsidenten. Der Ostflügel dient im ersten und zweiten Stock dem Oberpräsidenten der Provinz und in dem halben nördlichen Erdgeschoß seiner Bedienung als Wohnung; in der südlichen Hälfte befanden sich die Räume für die Liebesgaben-Annahme und -Versendung an das Heer. Der Nordflügel hat seine Ein- oder Zweischiffsteilung behalten und enthält die Räume für den Landesherrn im Erd- und ersten Obergeschoß; im zweiten Obergeschoß und Dachgeschoß befanden sich ehedem die Räume der Regierung, die im Jahre 1911 ein neues schönes und zweckmäßiges Heim auf der Hakenterrasse bekam (vgl. Jahrg. 1914 S. 1 d. Z.). Die Säle im Erdgeschoß mit Küche und sonstigen Nebenräumen dienten verwundeten Soldaten als Genesungsheim. Zurzeit stehen die ehedem von der Regierung benutzten Räume im Nordflügel leer.

Ein Durchgang unter der Wohnung des Kammerdieners des Oberpräsidenten vom großen zu dem kleinen östlichen mit Bäumen und Sträuchern bestandenen Hof teilt den zweischiffigen Keller des Ostflügels in zwei Teile, einen nördlichen und einen südlichen, deren Benutzung dem Oberpräsidenten zusteht; die großen Bodenräume über dem Ostflügel, desgl. über dem Nordflügel werden zurzeit fast nicht benutzt. Einen Teil des Kellers neben der Schloßkirche, im Nordflügel, benutzt das Oberlandesgericht als Brennstoffraum.

Der aus dem Jahre 1619 stammende Münzflügel ist bis auf einen kleinen Keller im Mittelbau für die Kutscherwohnung des Oberpräsidenten nicht unterkellert; seine Erdgeschoßräume dienen größtenteils für die Wohnungen darüber als Keller- und Brennstofflagerräume. Die beiden alten Flügelteile neben dem neueren Mittelbau zeigen auch eine zweischiffige gewölbte Anlage mit einer zum Teil noch vor-

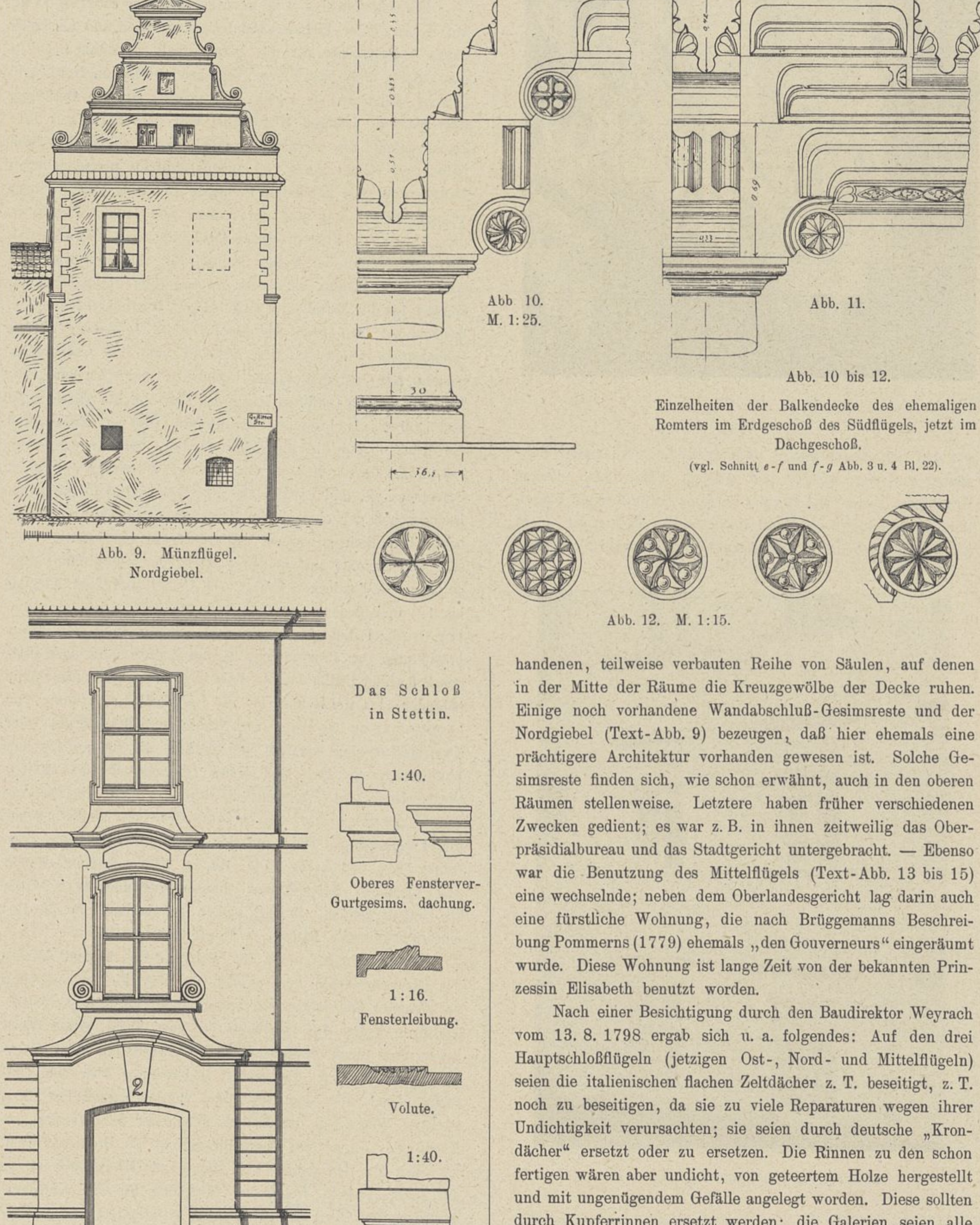


Abb. 9. Münzflügel. Nordgiebel.

Abb. 10. M. 1:25.

Abb. 11.

Abb. 10 bis 12.
Einzelheiten der Balkendecke des ehemaligen Remters im Erdgeschoß des Südflügels, jetzt im Dachgeschoß.
(vgl. Schnitt e-f und f-g Abb. 3 u. 4 Bl. 22).

Abb. 12. M. 1:15.

Das Schloß in Stettin.

1:40.
Oberes Gurtgesims. Fensterverdachung.

1:16.
Fensterleibung.

Volute.

1:40.
Unteres Gurtgesims.

Abb. 14.
Profile zu Abb. 13.

Abb. 13. Hoffront des Münzflügels. Mittelbau.

handenen, teilweise verbauten Reihe von Säulen, auf denen in der Mitte der Räume die Kreuzgewölbe der Decke ruhen. Einige noch vorhandene Wandabschluß-Gesimsreste und der Nordgiebel (Text-Abb. 9) bezeugen, daß hier ehemals eine prächtigere Architektur vorhanden gewesen ist. Solche Gesimsreste finden sich, wie schon erwähnt, auch in den oberen Räumen stellenweise. Letztere haben früher verschiedenen Zwecken gedient; es war z. B. in ihnen zeitweilig das Oberpräsidialbureau und das Stadtgericht untergebracht. — Ebenso war die Benutzung des Mittelflügels (Text-Abb. 13 bis 15) eine wechselnde; neben dem Oberlandesgericht lag darin auch eine fürstliche Wohnung, die nach Brüggemanns Beschreibung Pommerns (1779) ehemals „den Gouverneurs" eingeräumt wurde. Diese Wohnung ist lange Zeit von der bekannten Prinzessin Elisabeth benutzt worden.

Nach einer Besichtigung durch den Baudirektor Weyrach vom 13. 8. 1798 ergab sich u. a. folgendes: Auf den drei Hauptschloßflügeln (jetzigen Ost-, Nord- und Mittelflügeln) seien die italienischen flachen Zeltdächer z. T. beseitigt, z. T. noch zu beseitigen, da sie zu viele Reparaturen wegen ihrer Undichtigkeit verursachten; sie seien durch deutsche „Krondächer" ersetzt oder zu ersetzen. Die Rinnen zu den schon fertigen wären aber undicht, von geteertem Holze hergestellt und mit ungenügendem Gefälle angelegt worden. Diese sollten durch Kupferrinnen ersetzt werden; die Galerien seien alle zum Abbruch reif und dürften nur zum kleinsten Teil repariert oder erneuert werden; vom Schloßdach des Corps de logis müsse eine Treppe von neun Stufen nach dem „Lusthause" auf diesem Dache angelegt werden, dessen Blechdach in

Größe von 352 Quadratfuß mit grüner Ölfarbe zu streichen sei, usw. Dieses „Lusthaus“, an andrer Stelle „Sommerstube“ genannt, das bald wieder abgebrochen wurde, weil seine Durchtrittstelle im Dach undicht blieb, muß auf dem Nordflügel als turmartiger Aufbau dessen große Länge von rund 100 m in malerischer Weise etwas belebt haben, ähnlich, doch nicht so wirksam, wie zurzeit der Fahnenturm an der nordöstlichsten Ecke dieses Flügels im Verein mit dem dem Flügel gleichzeitig vorgebauten Prunktreppenhause. Alle vorgenannten Instandsetzungen und Verbesserungen sollten mit vielen anderen noch im Jahre 1799 ausgeführt werden, wurden aber durch die kriegerischen Ereignisse jener Zeit erheblich verzögert. Die Galerien sind, bis auf die jetzt noch vorhandenen zehn kanellierten Pilaster am Mittelflügel, zwei am Nordflügel, ein kleines Mauerstück an der Südostecke des Mittelflügel-Turmfußes unter einem teilweise aus dem Mauerwerk ragenden Findling, sowie ein Stück Podestplatte und Türumrahmung im Erdgeschoß auf der Nordseite dieses Turmes, erst nach 1831 völlig beseitigt. Bis zu diesem Jahre geben die Archivakten nur Auskunft. — Als Belag dafür, wie auch in jener Zeit die Bauaufsicht, die z. T. von dem Schloßinspektor ausgeübt wurde, zu unangenehmsten Reibereien mit gewinnsüchtigen und gewissenlosen Unternehmern und ihren gleich gearteten Leuten führte, die bei den Dachänderungen fortwährend besonders das alte noch brauchbare Dachholz wegzuschleppen suchten, diene die Mitteilung, daß der Unternehmer der Zimmerarbeiten in seinem sehr unbegründeten Verdruß über das Einschreiten der Schloßwache und des Schloßinspektors diesen als einen alten Spitzbuben und eine Kanaille bezeichnete, die nichts zu verbieten hätte. Der Schloßinspektor erhielt für seine Aufsicht vierteljährlich zwei Taler und war persönlich für den Schaden aus Diebstählen an Baustoffen haftbar. Die Schloßwache unterstützte ihn gegen diesen Diebstahlunfug recht wenig. Aus Rache beschädigten dann die Zimmerleute andre Bauarbeiten, z. B. die eisernen Galeriegeländer.



Abb. 15. Mittelflügel des Münzbaues.

Das für die äußere Erscheinung des Schlosses ungünstige Bild der flachen italischen Zeltdächer hat m. E. zum Bau der sehr hohen Attiken geführt, um die häßlichen Dächer dem Anblick möglichst zu entziehen.

An den Stellen, wo mehrgeschossige Galerien die Hoffronten bedeckten, verbot sich naturgemäß die Entwicklung einer reicheren Architektur; das Fehlen von Verdachungen im Erdgeschoß der Ostfront des Mittelflügels an einem Teile der Fenster und an einem anderen Teile im Erdgeschoß und ersten Obergeschoß der Westfront desselben Flügels usw. mag seinen Grund in diesem Umstande zu finden haben; ein völlig klares Bild ist von der Galerieanlage aus den Akten nicht zu gewinnen, Zeichnungen fehlen in ihnen hierzu ganz. Merians Stich vom Schloß zeigt die Galerieverbindung von Süd- und Mittelflügel klar als einfachen, nicht überdachten, offenen Laufgang. Nach Weyrachs Anschlag vom 22. 7. 1794 waren die Galeriepfeiler 2 Fuß rheinisch im Quadrat im Grundriß stark, $12^1/_2$ Fuß hoch vom Sockel bis zum Arkadenbogenkämpfer, der Sockel $2^1/_2$ Fuß im Quadrat stark, etwa 2 Fuß über Gelände hoch; die Arkadenbögen hatten verschiedene Höhe und Spannung; sie waren 2 Fuß breit und $1^1/_2$ Stein stark gewölbt; die Galeriedecken bestanden aus flachen „Kuffengewölben“ von „1 Fuß Zirkel“, die sich von der Schloßmauer nach der mit ihr in Eisen verankerten Arkadenstellung herüberwölbten. Die jetzt noch vorhandenen äußeren, im Mittel etwa 14 cm starken Absätze der Frontmauern am Mittel- und Nordflügel sind die Kämpfer der Galeriedeckengewölbe gewesen, so daß die Galeriefußböden sich geschoßweise nach oben verbreiterten. Die Galeriebrüstungen waren zuerst aus Ziegeln mit Putz erstellt; später verwandte man, da sie sich nicht dauerhaft zeigten, Guß- und dann das billigere Schmiedeeisen.

Das ganze Schloß ist im allgemeinen ein innen glatt und außen rauh geputzter Ziegelbau; zu den Keller- und Grundmauern sind auch Granitfindlinge mit verwendet. — Sandstein ist teilweise auch zu den Fensterumrahmungen und Gewänden gebraucht, desgl. zu Treppenstufen. Die Stufen der Haupttreppe des Mittelflügels haben bei ihrer großen Freilänge von rund 2,70 m einen Querschnitt von doppelter Stufenhöhe und Breite erhalten. Die vom Erdgeschoß zum ersten Obergeschoß führende Nebentreppe im Mittelflügel im Justizhauptkassenflur ist, wie die Haupttreppe im Südflügel und diejenige des Ostflügels aus Eisen, desgl. die beiden im großen Hof befindlichen Vordächer und die beiden Vordächer über den Altanen in der Nordfront. Die große Nebentreppe im Ostflügel und die Treppen im Münzflügel bestehen aus Holz, die Nebentreppe zwischen Ost- und Südflügel an dessen Ostende ist freitragend aus Granit mit Eisengeländer.

Die jetzige Bedachung besteht auf den älteren Münzflügelteilen und dem südlichen Torbau aus einem steilen Sattelziegeldach mit 20 cm Lattweite, im neueren Mittelbau aus einem Ziegelmansardendach; der Zusammenstoß der Dächer am Mittelbau ist wenig schön gelöst. Ost- und Mittelflügel haben Sattel-Ziegelkronendächer wie auch der nördliche Torbau und der Mittelflügelturm; der Schloßkirchturm besitzt eine Haube von Kupferblech mit Kupferbekleidung ihres Unterbaues, die vier Satteldächer darunter sind Ziegeldächer. Der Nord- und Südflügel sind mit Zinkleistendächern eingedeckt, der Fangeturm hat ein englisches ziemlich flaches Schieferzeltdach, der Uhrturm an beiden Hauben glatte Metallplattenbedeckung; die Angaben Lemckes auf S. 45 über die Dächer sind nicht ganz zutreffend, desgl. viele seiner Maßangaben. — Der Raum fehlt, die baugeschichtliche Ent-

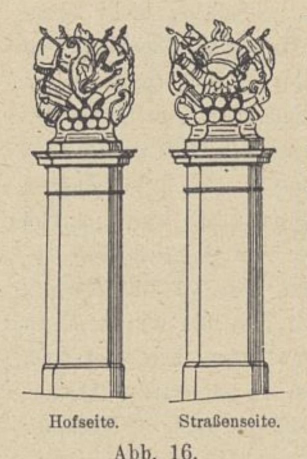


Abb. 16.
Westlicher Torpfeiler.

wicklung der Dächer usw. im einzelnen zu verfolgen.

Die starke Beeinträchtigung des Lichtzutrittes zur Westseite des Mittelflügels durch den Münzflügel mit seinem steilen Dach führte hauptsächlich auch mit zur Anlage des westlichen Seitenflurs im Mittelflügel und dem damit verbundenen Verlust an Zimmergrundfläche.

An baulichen Einzelheiten sind noch besonders bemerkenswert die Ziegelgewölbe im Fangeturm am Südflügel und die Netzgewölbe im Erdgeschoß in der Kastellanwohnung im selben Flügel, die westlich des 1842 noch erhalten gewesenen zweischiffigen großen Saales mit der bereits im Eingang erwähnten schöngeschnitzten, wuchtigen gotischen Holzdecke lagen, die jetzt im Dachgeschoß des Südflügels ein freudeloses fast unbeachtetes Dasein führt, nachdem ihr auch durch den Bau des städtischen Museums noch der Vorzug genommen ist, sich schützend über einer Sammlung von Altertümern der Provinz spannen zu dürfen, die noch vor einigen Jahren in dem rund 12,10/36,40 m großen Saal zur öffentlichen Besichtigung aufgestellt waren.

Seine Gründer, Pfleger und Mehrer Jahrhunderte überdauernd, vernachlässigt durch die Ungunst der Zeiten, in einzelnen Teilen geradezu mißbraucht, (Anfang des 19. Jahrhunderts wurde z. B. sogar der Dachboden des Mittelflügels als Getreideboden benutzt, so daß Decken- und Wandputz der darunterliegenden Räume abplatzte), vieler seiner einstigen Zierden beraubt, nur immer kümmerlich lebensfähig erhalten, teilweise innen verbaut, bietet der Bau im ganzen ein wenig erfreuliches Bild innen und außen.

Stettin. Mentz, Baurat.

Über Versuche mit Steinerhaltungsmitteln.

V. Mitteilung[1]).

Von Prof. Dr. F. Rathgen, Chemiker bei den Staatlichen Museen.

Die in der dritten Mitteilung behandelten Versuchssteine haben erneut von Juni 1914 bis Juli 1916 ausgelegen. Vor der Auslage sind die Berliner fluatierten und testalinierten Stücke der 7·3·1 cm großen Versuchssteine von Wünschelburger und Cottaer Sandstein, von Baumberger Kalksandstein und von Kirchheimer und Kehlheimer Kalkstein noch einmal mit den betreffenden Steinschutzmitteln getränkt worden. In denselben Jahren sind ferner als neues Versuchsmaterial eine Anzahl von Steinarten eingereiht worden, die mit einer Lösung von Barythydrat und solche, die nach dem englischen Siasicverfahren getränkt worden sind. Dieses besteht in einer Behandlung mit Lösungen von Arsensäure und von Wasserglas, und zwar werden sie bei Sandsteinen in dieser, bei Kalksteinen in umgekehrter Reihenfolge angewendet. In der Zeit von Juli 1915 bis Juli 1917[2]) waren endlich noch eine Anzahl von Steinen der Verwitterung ausgesetzt, die mit dem Steinschutzmittel Pollux getränkt waren, das eine gewisse Ähnlichkeit mit dem Testalin besitzt.

Alle diese Neutränkungen sind geschehen in Übereinstimmung mit den früher[3]) erwähnten Versuchen an Bauwerken; das Steinschutzmittel Pollux schied allerdings bei den Großversuchen aus, da ich es nicht mehr erhalten konnte.

Versuche mit den 7·3·1 cm großen Proben.

Der Raumersparnis wegen sehe ich dieses Mal ebenso wie bei der vierten Mitteilung von der ausführlichen Wiedergabe der langen Tabellen ab, in denen sonst das Aussehen, die Gewichtszunahme durch die Tränkung und die Gewichtsabnahme durch die Verwitterung bei jedem einzelnen Stein angegeben waren.

Über das Aussehen der Steine nach der zweiten zweijährigen Auslage ist zu erwähnen, daß bei den Kalksteinen und bei dem Marmor durchgehend kein Unterschied zwischen den unbehandelten und den getränkten besteht. Das ist zweifellos durch den größeren Substanzverlust gegenüber den Sandsteinen verursacht. Bei diesen sind im allgemeinen die fluatierten Stücke viel dunkler als die unbehandelten und die anderweitig getränkten; die mit Szerelmey behandelten Stücke, die zuerst am dunkelsten waren, sind jetzt z. T. noch heller als die unbehandelten. Bei den Schleswiger Steinen ist übrigens der Unterschied viel geringer als bei den an den drei anderen Orten ausliegenden Stücken, was durch die

Zeichenerklärung.*)

V =	Unbehandelt	z =	Zapon (Streichzapon C)
M =	Magnesiumfluat	P =	Paraffin
D =	Doppelfluat	B =	Bienenwachs
T =	Testalin	K =	Karnaubawachs
S =	Szerelmey	A =	Siasic
Z =	Zapon (Streichzapon A)	Y =	Barythydrat
L =	Leinölfirnis	X =	Pollux

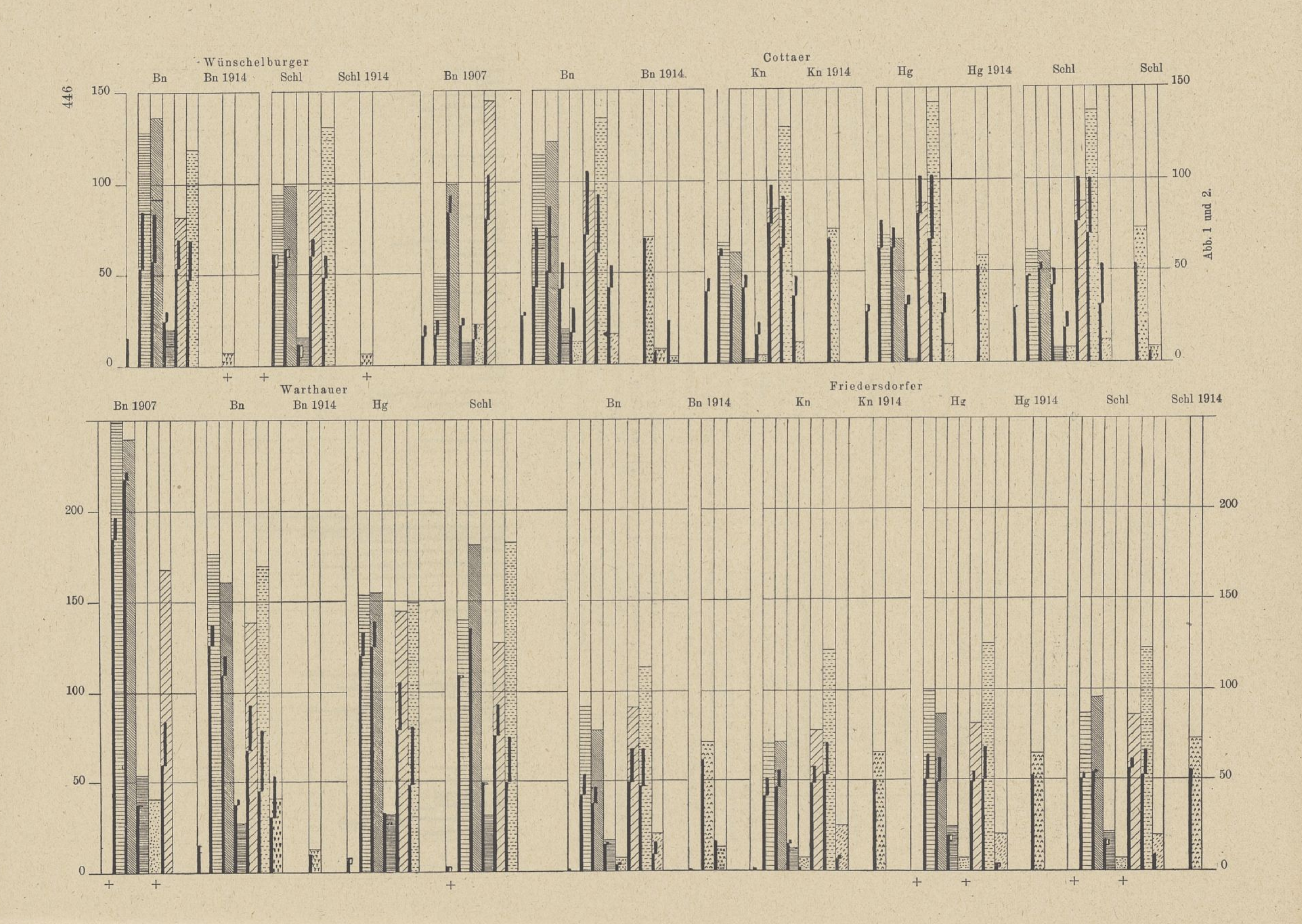
Verwitterung.

*) Die Zeichen sind etwa doppelt so groß als in den Tabellen.

1) Diese Veröffentlichung schließt sich der III. Mitteilung von 1915, Heft 4—6, S. 221—252, unmittelbar an. Die durch den Krieg bewirkte Verminderung der Hilfskräfte des Laboratoriums hat die diesmalige lange Zeit der Bearbeitung veranlaßt.

2) In den Tabellen in Spalte Bn 1914 aufgenommen.

3) 63. Jahrg. (1913) S. 82.



Wünschelburger
Bn
Bn 1914
Schl
Schl 1914
Bn 1907
Bn
Bn 1914
Cottaer
Kn
Kn 1914
Hg
Hg 1914
Schl
Schl
Warthauer
Bn 1907
Bn
Bn 1914
Hg
Schl
Friedersdorfer
Bn
Bn 1914
Kn
Kn 1914
Hg
Hg 1914
Schl
Schl 1914

Abb. 1 und 2.

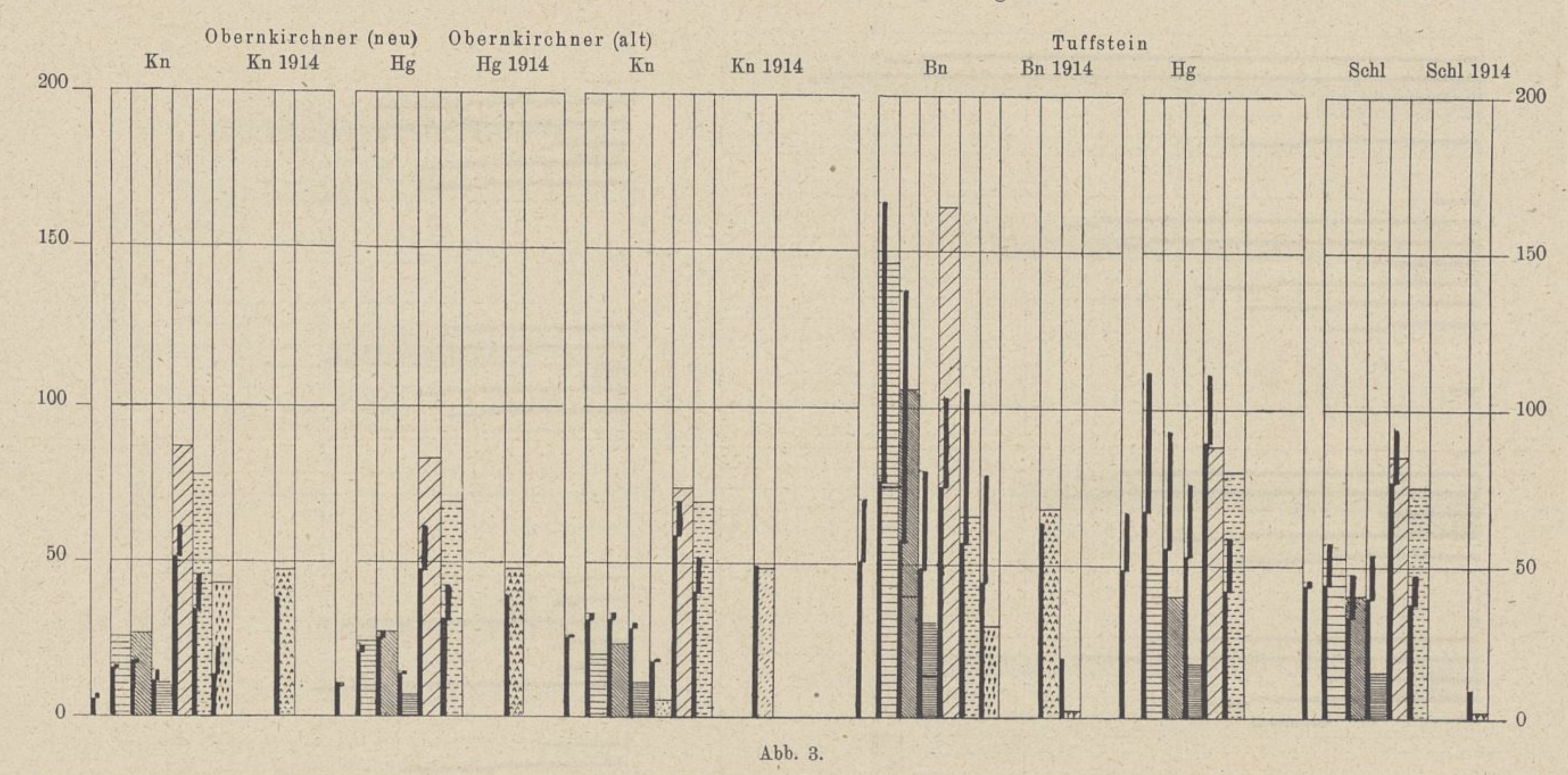


Abb. 3.

reinere rußarme Luft bedingt sein wird. Eigenartig ist die Veränderung, die etwa die Hälfte der Versuchsstücke aus dem altem Baumberger Kalksandstein aufweist. Sie haben sich etwas in der Längsrichtung gekrümmt, in einigen Fällen so stark, daß die Oberfläche des Steins in der Mitte etwa 3 mm tiefer liegt, als an den beiden schmalseitigen Kanten. Diese Erscheinung ist wohl durch die oberflächliche Umwandlung des kohlensauren Kalks in schwefelsauren Kalk, durch die lösende Kraft des Wassers und durch die Einwirkung der Sonnenwärme veranlaßt. Bei dem Tuffstein schwankt das Aussehen, in Berlin sind die mit Leinölfirnis behandelten am hellsten, sonst ist das Aussehen sogar innerhalb der einzelnen Gruppe von den je vier Steinen verschieden. In Schleswig haben fast alle Stücke das gleiche Aussehen, und in Hamburg sind die mit Fluat, Szerelmey und Leinölfirnis behandelten Steine heller als die unbehandelten.

Von der in der dritten Mitteilung erfolgten Zusammenstellung der Ergebnisse nach den einzelnen Auslageorten sehe ich ebenfalls der Raumersparnis wegen ab und gebe, wie es damals außerdem geschehen ist, die Zahlen nach den Gesteinsarten geordnet wieder; in Übereinstimmung damit werden auch die zeichnerischen Tabellen dieses Mal ebenso angeordnet sein. Zum Vergleich sind, soweit dieselben Gesteinsarten verwendet wurden, in beiden Tabellenarten sowohl die Ergebnisse der ersten Versuchsreihe, Bn 1907 bezeichnet[4]), als auch die nachträglich eingefügten, Bn 1914 bezeichnet, angeführt.

Die Bezeichnungen Bn, K, Hg, Sch ohne Jahreszahl beziehen sich auf die zuerst 1911 ausgelegten Steine, die Reihenbezeichnung ist dieselbe wie früher; neu hinzugekommen ist die Reihe 5a. Es bedeutete demnach:

4) 63. Jahrg. (1913) S. 70 u. 78.

Reihe 2 die Tränkungsmittel:

M = Magnesiumfluat	P = Paraffin
D = Doppelfluat	B = Bienenwachs
T = Testallin	K = Karnaubawachs
Z = Streichzapon A	Δ = Siasic
S = Szerelmey	Y = Barythydrat
L = Leinölfirnis	X = Pollux
z = Streichzapon C	V = unbehandelt,

Reihe 5 das Gewicht des aufgenommenen Tränkungsmittels in Grammen, berechnet auf die Fläche von einem Quadratmeter Oberfläche, und zwar als Mittelwert aus den vier Steinen jeder Tränkungsgruppe,

Reihe 5a das Gewicht des bei der erneuten Tränkung aufgenommenen Tränkungsmittels,
Reihe 8^2 die durch die Verwitterung veranlaßte Gewichtsabnahme in Gramm,
Reihe $8^4 - 8^2$ den Gewichtsverlust im 3. und 4. Auslegejahr,
Reihe 8^4 den Gewichtsverlust nach vierjähriger Auslage.
} ebenso berechnet

Die Unterschiede, die mehrfach, besonders bei den Schleswiger Steinen, zwischen den jetzigen Zahlen und denen der dritten Mitteilung auftreten, sind durch den Ausfall der verschwundenen oder beschädigter Stücke bedingt.

Wie früher, so ist auch jetzt zu bemerken, daß bei den Sandsteinen die Gewichtsabnahme der Steine um so größer ist, je mehr Tränkungsmittel aufgenommen ist, daß aber diese Gewichtsabnahmen im großen und ganzen noch unter den Zahlen der Gewichtszunahme durch die Tränkung bleiben, daß also meistens die Tränkungsmittel selber noch nicht ganz verschwunden sind. Ausnahmen bilden besonders mit Testalin und mit Zapon behandelte Steine, bei dem Cottaer auch die mit Szerelmey und einige der mit Fluat

Warthauer

	Bn 1907				Bn				Bn 1914		Hg				Sch			
	5	8^2	8^4-8^2	8^4	5	8^2	8^4-8^2	8^4	5	8^2	5	8^2	8^4-8^2	8^4	5	8^2	8^4-8^2	8^4
V		+7[1])	+7	+14		14	+3	11				7	+3	4		3	+6	3
M	249	184	12	196	176	125	12	137			153	119	13	132	139	108	+1	107
D	239	217	4	221	160	108	11	119			154	124	14	138	181	134	0	134
T	53	38	+1	37	27	37	2	39			31	32	0	32	31	49	0	49
Z	40	+7	0	+7														
S	167	59	24	83	138	67	25	92			144	78	26	104	126[2])	75	17	92
L					169	45	33	78			149	48	32	80	182	49	25	74
z																		
P					90	30	23	53										
Δ																		
Y									12	9								
X																		

Friedersdorfer

	Bn				Bn 1914		Kn				Kn 1914		Hg				Hg 1914		Sch				Sch 1914	
	5	8^2	8^4-8^2	8^4	5	8^2	5	8^2	8^4-8^2	8^4	5	8^2	5	8^2	8^4-8^2	8^4	5	8^2	5	8^2	8^4-8^2	8^4	5	8^2
V		1	0	1		1		0	1	1				+4	+2	+6				+6	+2	+8		
M	91	42	11	53			70	41	10	51			99	49	15	64			86	50	2	52		
D	78	37	9	46			71	46	9	55			86	48	13	61			95	53	1	54		
T	17	15	1	16			17	15	1	16			24	18	+3	15			21	16	+5	11		
Z	7	3	1	4			7	2	0	2			7	+3	+3	+6			7	+8	+1	+9		
S	91	49	18	67			78	48	9	57			81	49	5	54			86	55	5	60		
L	113	47	20	67			122	53	17	70			125	50	17	67			123	52	14	66		
z	21	9	6	15			25	6	2	8			20	3	+2	1			19	9	+1	8		
P																								
Δ					71	61					65	50					64	52					73	55
Y																								
X					13	16																		

1) + bedeutet, daß die Steine nach der Auslage keine Gewichtsabnahme, sondern eine Gewichtszunahme zeigten (s. Zeitschr. f. Bauw., 63. Jahrg. [1913], S. 68.

2) In mehreren Fällen, besonders bei Schleswiger Steinen, mußten infolge des Wegfallens verschwundener oder beschädigter Stücke die Zahlen umgerechnet werden.

Wünschelburger

	Bn					Bn 1914		Sch				Sch 1914	
	5	8^2	5^a	8^4-8^2	8^4	5	8^2	5	8^2	8^4-8^2	8^4	5	8^2
V		15		0	15				+2	+2	+4		
M	81	53	47	31	84			93	61	+7	54		
D	91	57	45	26	83			98	63	+4	59		
T	11	24	9	6	30			15	11	+7	4		
Z													
S	81	53		16	69			96	59	10	69		
L	118	48		21	69			130	48	12	60		
z													
P													
Δ													
Y						7	+1					6	+7
X													

Cottaer

	Bn 1907				Bn					Bn 1914		Kn				Kn 1914		Hg				Hg 1914		Sch				Sch 1914		
	5	8^2	8^4-8^2	8^4	5	8^2	5^a	8^4-8^2	8^4	5	8^2	5	8^2	8^4-8^2	8^4	5	8^2	5	8^2	8^4-8^2	8^4	5	8^2	5	8^2	8^4-8^2	8^4	5	8^2	
V		15	6	21		26		2	28				39	7	46				27	4	31				28	2	30			V
M	48	16	8	24	63	42	51	32	74			65	58	4	62			69	62	15	77			61	46	1	47			M
D	99	83	9	92	69	51	53	35	86			60	42	0	42			67	62	11	73			60	51	3	54			D
T	12	21	4	25	8	40	11	15	55			2	41	7	48			2	31	5	36			8	41	10	51			T
Z	22	13	9	22	12	17		13	30			4	15	7	22									8	23	4	27			Z
S	144	79	25	104	94	70		35	105			84	76	21	97			87	81	21	102			87	76	25	101			S
L					134	60		32	92			129	63	28	91			142	66	36	102			137	70	31	101			L
z					16	41		13	54			11	36	11	47			10	26	11	37			12	31	22	53			z
P																														P
Δ										69	68					73	67					58	52					73	53	Y
Y										8	6																	8	5	Δ
X										4	23																			X

Obernkirchner (neu)

	Kn				Kn 1914		Hg				Hg 1914	
	5	8^2	8^4-8^2	8^4	5	8^2	5	8^2	8^4-8^2	8^4	5	8^2
V		5	2	7				10	+1	9		
M	25	15	1	16			24	20	2	22		
D	26	17	1	18			27	24	3	27		
T	10	11	3	14			7	13	1	14		
Z												
S	86	51	10	61			83	47	15	62		
L	77	34	11	45			69	31	11	42		
z												
P	42	13	13	26								
Δ					47	38					47	39
Y												
X												

Obernkirchner (alt)

	Kn				Kn 1914	
	5	8^2	8^4-8^2	8^4	5	8^2
V		25	1	26		
M	20	31	2	33		
D	23	31	2	33		
T	11	28	2	30		
Z	5	17	1	18		
S	73	58	11	69		
L	69	40	12	52		
z					48	49
P						
Δ						
Y						
X						

Tuffstein

	Bn					Bn 1914		Hg				Sch				Sch 1914	
	5	8^2	5^a	8^4-8^2	8^4	5	8^2	5	8^2	8^4-8^2	8^4	5	8^2	8^4-8^2	8^4	5	8^2
V		51		19	70				48	19	67		42	3	45		
M	74	77	72	89	166			47	66	46	112	52	43	14	57		
D	39	56	66	81	137			39	55	37	92	39	32	15	47		
T	14	48	16	31	79			17	52	24	76	14	38	6	44		
Z																	
S	164	74		29	103			87	88	23	111	84	76	17	93		
L	64	29		27	56			79	41	18	59	74	37	10	47		
z																	
P	29	43		35	78												
Δ						67	63										
Y						2	19									2	9
X																	

Baumberger (alt)

	Bn 5	Bn 8^2	Bn 5^a	Bn 8^4-8^2	Bn 8^4	Bn 1914 5	Bn 1914 8^2
V		280		285	565		
M	25	267	18	219	486		
D	19	221	9	142	365		
T	2	244	2	284	528		
Z							
S	85	210		258	468		
L	53	158		234	392		
Λ						41	237
Y						1	197
X							

Caener (alt)

	Kn 5	Kn 8^2	Kn 8^4-8^2	Kn 8^4	Kn 1914 5	Kn 1914 8^2
V		252	219	471		
M	27	146	154	300		
D	19	156	173	329		
T	9	215	239	454		
Z	2	207	214	421		
S	92	262	222	484		
L	112	196	182	378		
Λ					44	208
Y						
X						

Travertin

	Bn 5	Bn 8^2	Bn 8^4-8^2	Bn 8^4	Bn 1914 5	Bn 1914 8^2	Sch 5	Sch 8^2	Sch 8^4-8^2	Sch 8^4
V		139	154	293				52	60	112
M	7	141	153	294			7	53	56	109
D	6	157	174	331			6	47	50	97
T	8	135	143	278			8	46	56	102
Z										
S	34	110	139	249			24	51	43	94
L	22	100	136	236			29	30	50	80
Λ					13	151				
Y					2	138				
X					3	141				

Grünsfelder

	Hg 5	Hg 8^2	Hg 8^4-8^2	Hg 8^4	Hg 1914 5	Hg 1914 8^2
V		155	151	306		
M	11	164	150	314		
D	2	165	149	314		
T	10	149	140	289		
Z	7	125	151	276		
S	41	116	136	252		
L	35	117	149	266		
Λ					12	140
Y						
X						

Kirchheimer

	Bn 1907 5	Bn 1907 8^2	Bn 1907 8^4-8^2	Bn 1907 8^4	Bn 5	Bn 8^2	Bn 5^a	Bn 8^4-8^2	Bn 8^4	Bn 1914 5	Bn 1914 8^2
V		159	179	338		171		203	374		
M	6	157	184	341	0	175	0	207	382		
D	13	162	184	346	0	172	0	189	361		
T	5	147	179	326	2	154	3	190	344		
Z	11	148	166	314	4	142		189	331		
S	23	108	139	247	7	135		187	322		
L					8	123		191	314		
Λ											
Y										1	139
X										0	158

Kehlheimer

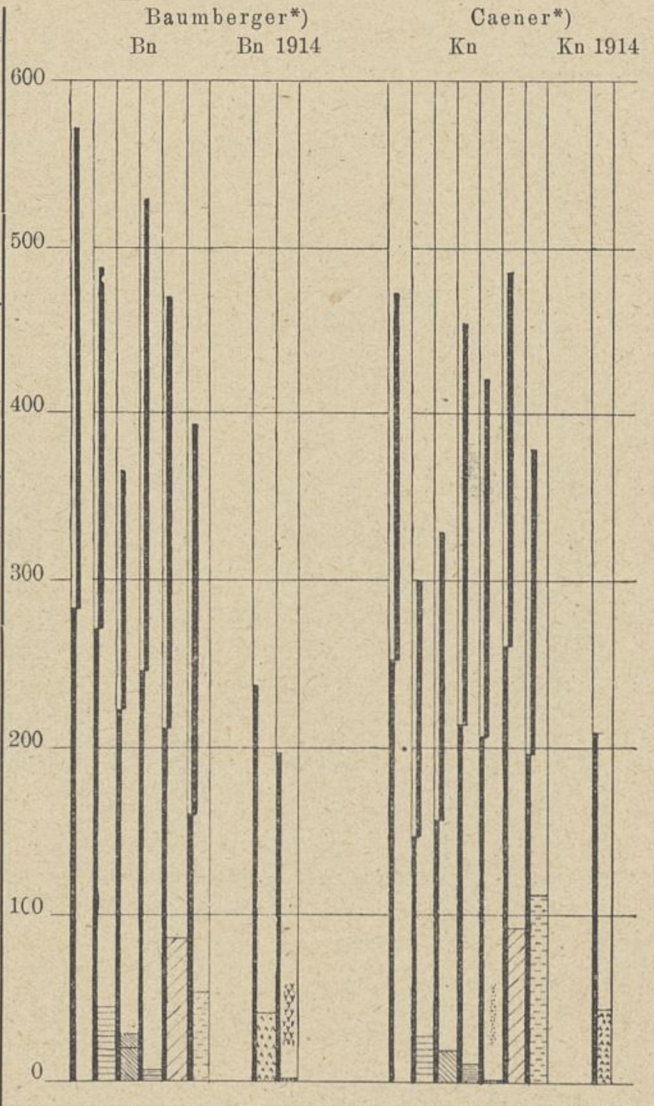
	Bn 5	Bn 8^2	Bn 5^a	Bn 8^4-8^2	Bn 8^4	Bn 1914 5	Bn 1914 8^2	Kn 5	Kn 8^2	Kn 8^4-8^2	Kn 8^4	Kn 1914 5	Kn 1914 8^2
V		116		140	256		104		125	147	272		
M	5	143	5	199	342			4	135	143	278		
D	3	144	4	164	308			6	142	158	300		
T	5	130	7	156	286			6	125	156	281		
Z	3	99		137	236			5	115	149	264		
S	27	111		143	254			36	110	151	261		
L	30	107		136	243			36	115	144	259		
z	13	123		146	269			12	123	150	273		
P	84	84		124	208								
B													
K													
Λ												13	175
Y						2	121						
X						5	107						

	Hg 5	Hg 8^2	Hg 8^4-8^2	Hg 8^4	Hg 1914 5	Hg 1914 8^2	Sch 5	Sch 8^2	Sch 8^4-8^2	Sch 8^4	Sch 1914 5	Sch 1914 8^2
V		138	125	263				49	41	90		
M	3	148	126	274			4	43	45	88		
D	6	154	127	281			4	45	48	93		
T	5	139	128	267			5	50	43	93		
Z							4	37	45	82		
S	28	135	123	258			28	46	45	91		
L	30	124	119	243			33	47	53	100		
z	12	134	131	265			13	51	48	99		
P												
B												
K												
Λ					7	127					9	63
Y											2	42
X												

Marmor

	Bn 1907 5	Bn 1907 8^2	Bn 1907 8^4-8^2	Bn 1907 8^4	Bn 5	Bn 8^2	Bn 8^4-8^2	Bn 8^4	Bn 1914 5	Bn 1914 8^2
V		80	134	214		107	215	322		
M	2	100	212	312						
D	1	104	193	297						
T	2	78	133	211						
Z	14	79	153	232	3	96	206	302		
S	11	84	172	256						
L										
z										
P										
B	7	45	91	136						
K	1	82	151	233						
Λ										
Y									1	136
X									3	104

	Hg 5	Hg 8^2	Hg 8^4-8^2	Hg 8^4	Sch 5	Sch 8^2	Sch 8^4-8^2	Sch 8^4	Sch 1914 5	Sch 1914 8^2
V		115	159	274		25	32	57		16
M	0	129	167	296	0	26	38	64		
D	0	140	184	324	0	25	32	57		
T	2	111	158	269	1	24	35	59		
Z	2	104	150	254	3	81	31	112	2	20
S	9	102	153	255	10	20	36	56		
L										
z										
P										
B	2	96	139	235	2					
K	0	105	143	248	0					
Λ										
Y									1	27
X										



*) Bei dem Baumberger und Caener Stein ist wegen der Länge der schwarzen Verwitterungsstriche der Maßstab in senkrechter Richtung nur halb so groß gewählt als bei allen anderen Steinen.

Abb. 4a.

behandelten Steine; auch die alten Oberkirchner zeigen dieselbe Erscheinung bei den fluatierten, testalinierten und zaponierten Stücken. Von einem jetzt schon bemerkbaren Schutz der Steinerhaltungsmittel kann man nur bei dem mit Doppelfluat und Zapon behandelten Cottaer Stein in Köln, bei dem zaponierten Cottaer in Schleswig und bei dem testalinierten alten Oberkirchner in Köln sprechen, da hier die Verwitterungszahlen in der Zahlentabelle und die schwarzen Striche in den zeichnerischen kleiner sind als die der unbehandelten Steine; von Bedeutung ist allerdings nur der Unterschied bei den Kölner zaponierten Stücken. Hinzuweisen ist wohl noch darauf, daß im allgemeinen die Schleswiger Steine kaum günstiger abschneiden als die durch die Verbrennungsgase doch sicherlich mehr beanspruchten Steine in Berlin, Köln und Hamburg.

Bei den Tuffsteinen tritt dagegen die geringere Einwirkung der Atmosphärilien in Schleswig deutlich hervor; daß sie bei den fluatierten Stücken in Hamburg gegenüber den Berlinern auch zahlenmäßig vorhanden ist, ist aber nur scheinbar, denn

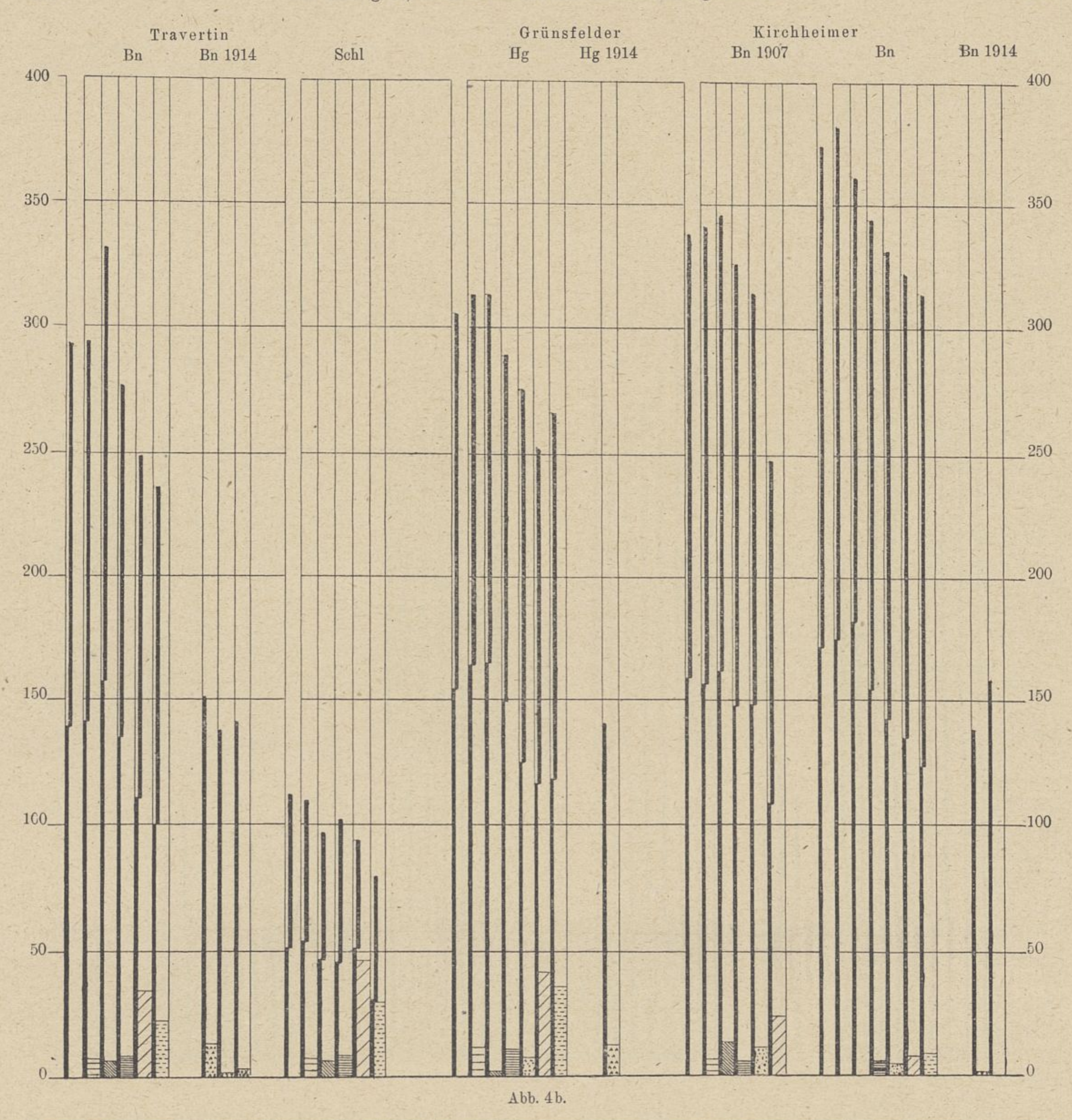


Abb. 4b.

diese weisen ja wegen der nochmaligen Tränkung höhere Zahlen auf. Gegenüber den unbehandelten Stücken haben alle mit Leinölfirnis getränkten in Berlin und in Hamburg und die in Schleswig ausliegenden testalinierten Stücke geringere Verwitterungszahlen.

Eine Schutzwirkung zeigen alle Tränkungsmittel bei dem Baumberger Kalksandstein; besonders günstig erweist sich die Behandlung mit Doppelfluat.

Bei den 1914—1916er Stücken können die Ergebnisse streng genommen ebenso wie bei den 1907—1908ern nicht mit den 1911—1912er Steinen verglichen werden, aber die Schutzwirkung des Barythydrats ist hier — übrigens im Gegensatz zu den großen Versuchen an den Bauwerken selber — doch so auffällig, daß dagegen die etwaige Verschiedenheit der atmosphärilen Einwirkungen in den Auslagejahren zurücktritt. Das Tränkungsmittel Pollux zeigt nur in einem Fall, bei dem in Berlin ausgelegten Cottaer, ein ähnliches Verhalten.

Bei dem Kalkstein und Marmor macht sich die günstige Wirkung der besseren, an Verbrennungsgasen viel ärmeren Schleswiger Luft deutlich bemerkbar. Da die Tränkungszahlen gegen die Verwitterungszahlen bei Kalkstein und Marmor sehr zurücktreten, so kann die Beurteilung der Schutzkraft der Tränkungsmittel hier sicherer als bei dem Sandstein erfolgen, wenn auch die Unterschiede bisher meistens nicht sehr stark auffallen. Hervorheben möchte ich folgende Fälle: Bei den nur in Köln ausliegenden Versuchsstücken aus altem Caener Stein hat sich die Fluatierung besonders

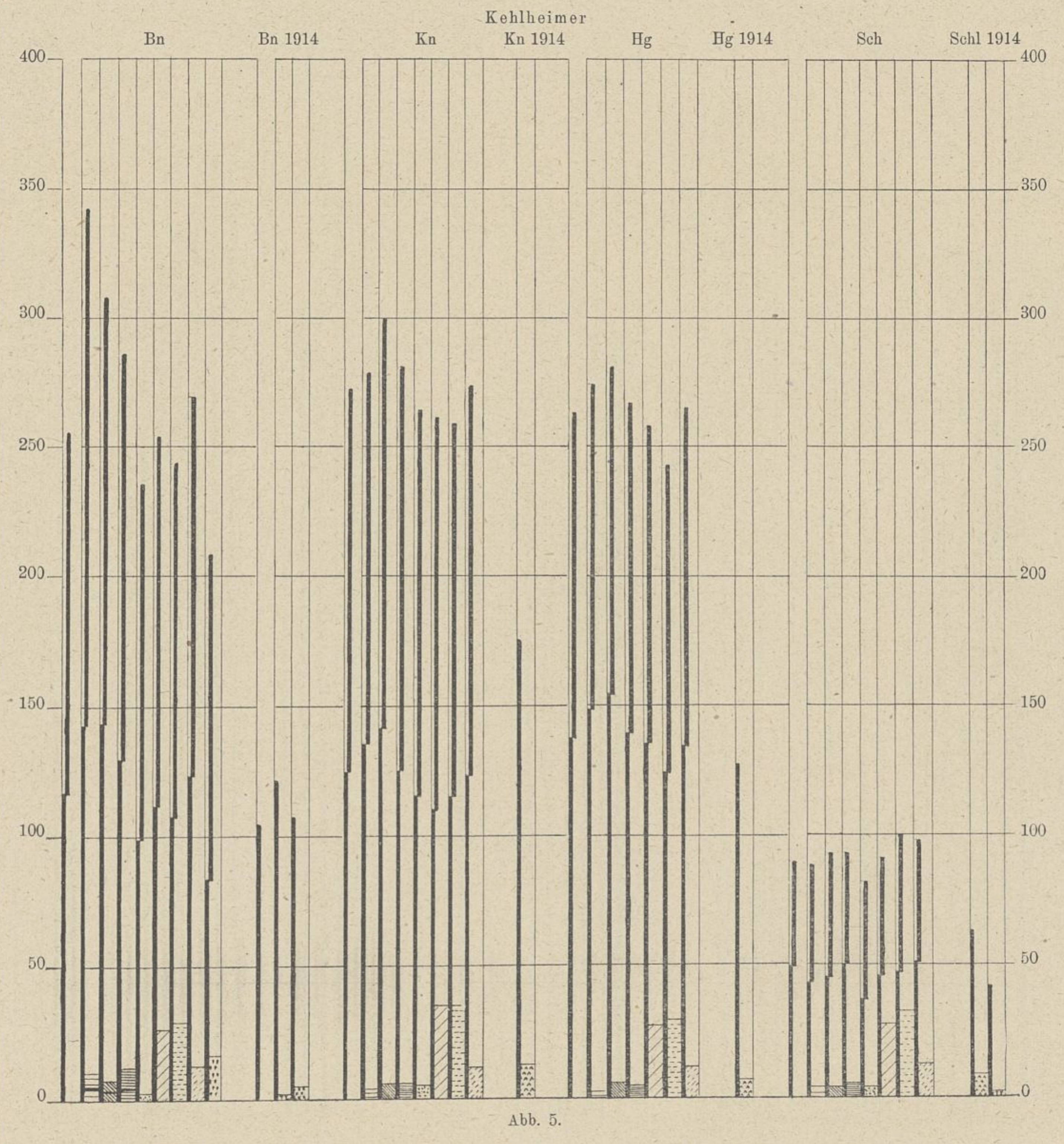


Abb. 5.

gut bewährt, auch Testalin, Zapon und besonders Leinölfirnis sind von gutem Einfluß gewesen, während auffallenderweise hier das Szerelmey versagt hat. Bei den Berliner Travertinsteinen sind Testalin, Szerelmey, Leinölfirnis, bei den Schleswiger Travertinsteinen alle Tränkungsmittel wirksam gewesen; auffällig ist die ungünstige Wirkung des Doppel-

	Friedersdorfer						Cottaer						Kehlheimer						
	7·3·1-Stücke			Würfel			7·3·1-Stücke			Würfel			7·3·1-Stücke			Würfel			
	5	8^2	8^4	5	8^2	8^4	5	8^2	8^4	5	8^2	8^4	5	8^2	8^4	5	8^2	8^4	
V		1	1		7	13		26	28		68	102		116	256		163	295	V
M	**91**	42	53	**146**	59	76	**63**	41	74	**45**	38	67	**5**	143	392	**2**	171	309	M
D	**78**	37	46	**125**	50	66	**69**	51	86	**32**	28	57	**3**	144	308	**5**	183	326	D
T	**17**	15	16	**19**	30	37	**8**	40	55	**1**	63	105	**5**	130	286	**9**	138	273	T
Z	**7**	3	4	**7**	11	19	**12**	17	30	**8**	54	103	**3**	99	236	**4**	132	265	Z
S	**91**	49	67	**109**	49	80	**94**	70	105	**141**	93	150	**27**	111	254	**46**	124	244	S
L	**113**	47	68	**130**	41	80	**134**	60	92	**140**	44	119	**30**	107	243	**55**	120	246	L
Δ	**71**	61		**85**	82		**69**	68		**54**	93					**15**	136		Δ
Y				**12**	9		**8**	6		**6**	38		**2**	121		**2**	123		Y

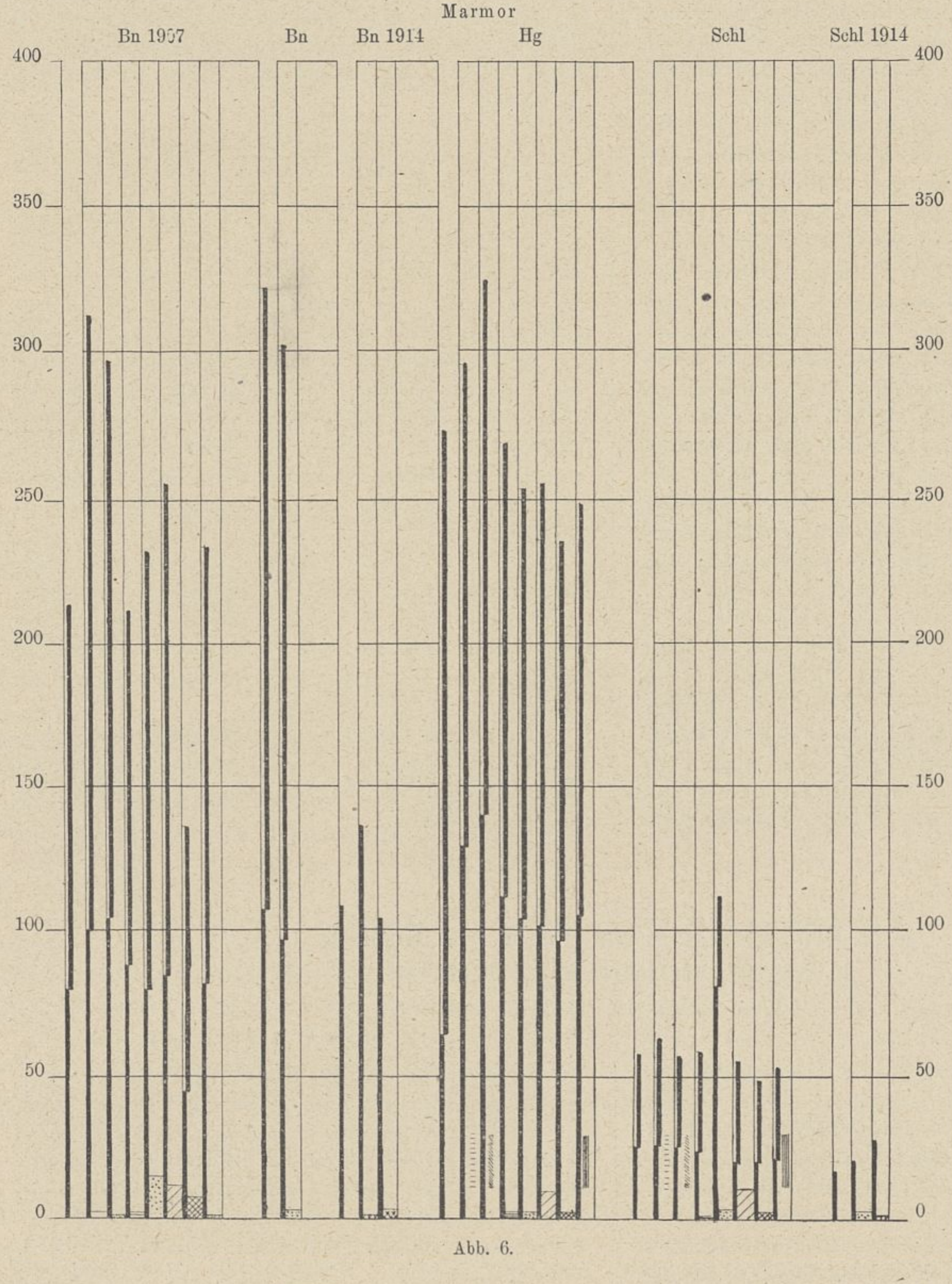


Abb. 6.

Marmor

	7. 3. 1 - Stücke			Würfel			
	5	8²	8⁴	5	8²	8⁴	
V		107	322		68	142	V
B	7*)	45	136	3	31	100	B

*) Von Bn 1907.

fluats bei dem Berliner Travertin. Bei dem Kirchheimer haben fast alle Tränkungen einen gewissen Erfolg gehabt, bei dem Kehlheimer sind in Köln, Hamburg und Schleswig wenig Unterschiede in der Wirksamkeit des einzelnen Steinschutzmittels zu bemerken, bei den in Berlin ausliegenden Stücken fällt die günstige Wirkung des Paraffins, die ungünstige der Fluate und des Testalins auf, bei dem Hamburger Grünsfelder Stein schneiden alle Tränkungsmittel mit Ausnahme der Fluate gut ab. Bei dem Marmor zeigt sich in Übereinstimmung mit den Ergebnissen bei den Steinen der ersten Versuchsreihe wieder die ungünstige Wirkung des Fluats, alle anderen Tränkungsmittel zeigen Schutzwirkung, am meisten die Behandlung mit Wachs. Daß die nach der zweijährigen Auslage außergewöhnliche hohe Verwitterungszahl bei dem zaponierten Marmor nur durch ein Versehen zu erklären ist, ist durch die Neuauslage von vier unbehandelten und vier zaponierten Marmorstücken in der Zeit von 1915 bis 1917 durch die Verwitterungszahl 20 bestätigt worden; das Verhalten der alten zaponierten Stücke in den zweiten zwei Auslagejahren stimmt mit dem der anderen alten Stücke überein.

Die 1907 zuerst ausgelegten Steine von Warthauer, Cottaer, Kirchheimer und Marmor zeigen gegenüber den 1911 zum ersten Mal der Verwitterung ausgesetzten mit wenigen Ausnahmen ganz ähnliche Verwitterungszahlen. Somit wird auch ein Vergleich der Verwitterungszahlen der erst 1914 ausgelegten Stücke nach zweijähriger Auslage statthaft sein. Vor allem ist der durch Barythydrat erzielte Schutz bemerkenswert: Bei Warthauer, Wünschelburger, Cottaer, Baumberger und Kirchheimer in Berlin und bei Cottaer und Kehlheimer in Schleswig. Pollux, das nur in Berlin verwendet wurde, zeitigte gute Erfolge bei Cottaer, Kirchheimer, Kehlheimer und Marmor, Siasic endlich bei Baumberger in Berlin, Caener in Köln und bei Kehlheimer und Grünsfelder in Hamburg.

Die Versuche mit den freistehenden Würfeln.

In der dritten Veröffentlichung[5]) habe ich berichtet, daß die Gefäßversuche insofern keinen Erfolg hatten, weil eine Trennung der aus den Steinwürfeln stammenden Verwitterungsstoffe von den in die Gefäße hineingelangten großen

5) 65. Jahrg. (1915) S. 249—250.

Mengen von Staub und Flugasche ausgeschlossen war. Einen etwas günstigeren Aufstellungsplatz glaubte ich dann an anderer Stelle des Daches gefunden zu haben. Aber die Hoffnung, hier bessere Ergebnisse zu erzielen, wurde durch den Schneesturm und die Kälte am 20. und 21. März 1915 vernichtet, indem eine größere Anzahl der Porzellangefäße platzten, die die beiden früheren Winter doch ohne jede Beschädigung überstanden hatten. Damit mußten diese Versuche wenigstens in bezug auf das Auffangen der Verwitterungsstoffe aufgegeben werden, selbst wenn es vielleicht noch durch eine anderweitige Aufstellung möglich gewesen wäre, sich noch unabhängiger von der Flugasche und vom Staub zu machen. Ich habe aber die Würfel noch weiter, zum Teil in Ersatzgefäßen, der Verwitterung ausgesetzt. Jetzt stehen sie unmittelbar vor einem Fenster des Laboratoriums der Museen, wo sie jeden Augenblick leicht zugänglich sind, um während der Frostmonate jede, auch die kleinste Menge Wasser oder Schnee entfernen zu können. Allerdings sind sie mit dieser Aufstellung in etwas andere atmosphärile Verhältnisse gekommen. Sie befinden sich jetzt etwa 4 m hoch über dem Niveau einer nicht breiten Zufahrtstraße, die im Osten durch die hohe Nationalgalerie begrenzt ist. Damit sind sie in geringerem Grade dem Angriff des Regens und der Winde ausgesetzt, in etwas stärkerem dem Straßenstaube. Diese Versuche sind somit etwa denen mit den 7·3·1-Stücken an die Seite zu setzen, da die Würfel aber ganz frei stehen, müssen sie eine etwas stärkere Verwitterung zeigen. Das trifft auch im allgemeinen zu; bei einigen Ausnahmen fällt besonders der Marmor auf; seine geringe Verwitterungszahl bei den Würfeln rührt wohl von der Verschiedenheit des Steinmaterials her. Die mit Siasic und Barythydrat behandelten Würfel waren bis jetzt erst 2 Jahre, 1914—1916, ausgestellt.

Steinschutzmittel und Algen.

Hier kann nur wiederholt werden, daß die Tränkungsmittel ohne Einfluß auf die Algenbildung sind. Fast alle Warthauer und Cottaer Steine zeigten starke Algenbildung, bei den Tuffsteinen war sie geringer, bei den Grünsfelder Steinen fanden sich nur stellenweise schwache Algenflecke, bei dem Marmor noch weniger. Neu war jetzt das Auftreten von Flechten. Solche waren bei dem Warthauer und Cottaer nur bei den unbehandelten, bei dem Tuffstein mit Ausnahme der fluatierten bei allen Stücken, bei dem Grünsfelder bei allen Steinen und bei dem Marmor nur bei den mit Magnesiumfluat getränkten zu beobachten. Alle Steine sind nach Wasserreinigung mit weicher Bürste und Wasser, und nachdem sie völlig trocken geworden waren, wieder auf der Pfaueninsel ausgelegt.

Bei den in Berlin, Köln und Hamburg ausliegenden Stücken waren Algen nirgends zu bemerken, bei den Schleswiger Steinen waren sie bei allen Tuffsteinstücken mit Ausnahme der unbehandelten und der fluatierten zu beobachten und ferner noch bei den mit Siasic getränkten Cottaer Steinen, die ja erst zwei Jahre auslagen.

Die wenigen vorstehend angeführten Fälle ändern schwerlich etwas an dem Satz, daß die Algenbildung von der Art des Steines und von der klimatischen Beschaffenheit der Auslegestelle abhängt.

Die Beobachtungen am Pegel von Kolberg
in den 100 Abflußjahren von 1817 bis 1916.

(Mit Abbildungen auf Blatt 25 im Atlas.)

Allgemeines über den Pegel. Der Pegel von Kolberg liegt etwa 500 m vom Ostmolenkopf entfernt an dem rechten Persanteufer. Das Gefälle der Persante vom Pegel bis zur Verbindungslinie der beiden Molenköpfe ist sehr gering. Nur selten ist eine lebhafte Ausströmung zu bemerken. Einstrom entsteht fast nie. Durch die starke Krümmung der Molen und ihre flachen Böschungen tritt im Hafenschlauch ein rasches Abstillen des Seeganges ein. Daher werden die Wasserstände am Pegel wenig vom Gefälle des Wasserspiegels der Persante und dem Wellengang der See beeinflußt. Die Beobachtungen am Pegel geben daher eine gute Unterlage zur Beurteilung der Bewegungen des Wasserspiegels der Ostsee.

Über den Pegel und die Beobachtungen an demselben in der Zeit von 1816 bis 1896 enthält der Jahrgang 1898 der Zeitschrift für Bauwesen (S. 93 u. s. f.) eine Veröffentlichung vom Regierungs- und Baurat Anderson unter der Überschrift: „Mittelwasser der Ostsee bei Kolbergermünde", die sich neben der Bestimmung des Mittelwassers für die 81 Kalenderjahre von 1816 bis 1896 auch eingehend mit Untersuchungen über die Geschichte des Pegels, die Lage des Pegelnullpunktes und die Zuverlässigkeit der früheren Beobachtungen beschäftigt.

Pegelnullpunkt. Für die nachfolgenden Untersuchungen ist das wichtigste Ergebnis jener gründlichen Arbeit, daß der Nullpunkt des Pegels von Anfang der Beobachtungen an unverändert geblieben ist. Es sei hierzu gleich bemerkt, daß auch von 1896 bis jetzt eine Änderung des Nullpunktes nicht eingetreten ist, und noch heute die amtliche Feststellung vom 27. August 1879 besteht, wonach P. N. = N. N. — 1,607 m ist.

Die Zuverlässigkeit der alten Beobachtungen. Nach Anderson (Z. f. B. 1898) bieten auch die älteren Wasserstandslisten aus der Zeit vor 1848 den neuen Wasserstandslisten gleichwertige Unterlagen für die Berechnung des Mittelwassers. Hierzu ist jedoch zu bemerken, daß nach erneuter Prüfung die Listen vor dem Jahre 1842 keine Bemerkungen über außergewöhnliche Wasserstände außerhalb der täglichen Beobachtungszeit (12 Uhr mittags) enthalten. Auf die Bestimmung des Mittelwassers hat dieser Umstand allerdings keinen Einfluß, denn hierfür und für die Bildung der Monats- und Jahresmittel sind und werden auch heute noch nur die zur regelmäßigen täglichen Beobachtungszeit (12 Uhr mittags) abgelesenen Wasserstände benutzt. Dagegen muß bei Untersuchung über die höchsten und

niedrigsten Wasserstände, sowie über die Schwankungen und über die Häufigkeit des Eintretens der Wasserstände auf diesen Umstand Rücksicht genommen werden, und die älteren — vor 1842 gemachten — Beobachtungen können nicht als gleichwertig mit den neueren angesehen werden, denn es sind wahrscheinlich manche der äußersten, meist nur kurze Zeit andauernden Wasserstände, wenn sie vor oder nach der Beobachtungszeit eintraten, nicht in die Listen aufgenommen worden.

Der Andersonschen Ermittlung des Mittelwassers sind Kalenderjahre zugrunde gelegt worden. Die Mittel der einzelnen Jahre sind durch Teilung der Summen aller Einzelbeobachtungen durch die Zahl der Tage auf drei Stellen berechnet. Das Mittel für die ganze Beobachtungszeit von 81 Jahren wurde durch Teilung der Summe aller Beobachtungen durch die Zahl aller Tage ermittelt und zu $\frac{45\,236{,}703}{29\,586} = 1{,}5289$ oder rd. 1,529 m gefunden.

Nach den Bestimmungen des Ministerialerlasses vom 18. Februar 1912 — III. 728 g. — werden jetzt die Jahresmittel für die Abflußjahre (je vom 1. November bis 31. Oktober) durch Zusammenzählen aller Mittagsbeobachtungen und Teilung durch die Tage unter Benutzung einer Tafel auf zwei Stellen ermittelt.

Um festzustellen, ob diese Berechnungsart einen Einfluß auf das Ergebnis hat, sind die Zahlen, welche von Anderson (S. 108 d. Z. f. B. 1898) gegeben wurden, auf Abflußjahre umgerechnet worden, indem die Jahressumme jedes Jahres um den Unterschied der Summen von November und Dezember des laufenden und des vorhergehenden Jahres berichtigt worden ist (s. Zusammenstellung I). Da keine November- und Dezemberbeobachtungen aus dem Jahre 1815 vorliegen, konnten keine Zahlen für das Abflußjahr 1816 ermittelt werden. Daher sind für 1816 die von Anderson für das Kalenderjahr 1816 ermittelten Zahlen beibehalten worden.

Die Mittelwerte für die anderen Abflußjahre 1817 bis 1896 sind nach den jetzt bestehenden Bestimmungen aus der durch den Erlaß vom 18. Februar 1912 eingeführten Tabelle — (also auf zwei Stellen abgerundet) — entnommen worden.

Die Summe der Mittel der 80 Abflußjahre von
1817 bis 1896 beträgt . . . . 122,41 m
Dazu das Mittel des Kalenderjahres 1816 nach
Anderson 1,419 oder auf zwei Stellen abgerundet 1,42 m
Die Summe von 81 Mittel ist daher . . . . 123,83 m
Das Mittel des ganzen Zeitraumes von 80 Abflußjahren und 1 Kalenderjahr $\frac{123{,}83}{81} = 1{,}5287$ m.

Der Unterschied gegen die Ermittlung nach dem Andersonschen Verfahren beträgt also nur 0,0002 m.

Beide Verfahren führen zu demselben Mittel: 1,529 m.

Durch die Änderung der Berechnungsart bei der Ermittlung der Mittel in den langen Zeiträumen konnte das Ergebnis also nicht beeinflußt werden.

Mittelwasser. Es sind daher alle in der anliegenden Zusammenstellung II enthaltenen Jahresmittel, auch diejenigen von 1896 bis 1912, in derselben Weise ermittelt worden, wie es seit 1912 vorgeschrieben ist, und von da ab in den jährlichen Zusammenstellungen für alle Pegel des Staates geschieht.

Aus der Zusammenstellung II und Abb. 1 Bl. 25 ergibt sich als Mittel für 100 Abflußjahre (von 1817 bis 1916)

1,542 m.

Das höchste Jahresmittel hatte das Jahr 1914 mit 1,69 m
Das niedrigste das Jahr 1823 mit . . . . . 1,36 m
Der Unterschied beträgt . . . . 0,33 m.

Die Mittel der einzelnen Jahrzehnte sowie der beiden Hälften und der ganzen Beobachtungszeit enthält die nachstehende Zusammenstellung und die Darstellung auf Abb. 3 Bl. 25.

Jahrzehnt	M.W. m	Zunahme m	Abnahme m	Mittel aus 50 Jahren m	Mittel aus 100 Jahren m
1817—1826	1,527	0	—		
1827—1836	1,529	0,002	—		
1837—1846	1,526	—	0,003	1,521	
1847—1856	1,530	0,004	—		
1857—1866	1,494	—	0,036		1,542
1867—1876	1,542	0,048	—		
1877—1886	1,546	0,004	—		
1887—1896	1,547	0,001	—	15,63	
1897—1906	1,589	0,042	—		
1907—1916	1,592	0,003	—		

Hieraus ist ein bemerkenswerter Unterschied im Verhalten der Jahrzehntenmittel der ersten Hälfte des Jahrhunderts zu denen der zweiten Hälfte ersichtlich. In der ersten Hälfte des Jahrhunderts ist zunächst ein geringes Schwanken der Jahrzehntenmittel bemerkbar, dann aber sinken sie im fünften Jahrzehnt auf den Tiefstand mit 1,494 m. In der zweiten Hälfte ist aber ein ununterbrochenes Ansteigen bis auf den Höchststand im letzten Jahrzehnt mit 1,592 m festzustellen. Einem Sinken von 33 mm in den ersten folgt also ein Steigen von 98 mm in den letzten Jahrzehnten.

Das Mittel der ersten 50 Jahre ist . . . . . 1,521 m
das der letzten . . . . 1,563 m
Der Unterschied beträgt . . . . 0,042 m.

Das von Anderson berechnete und bisher eingeführte Mittelwasser des Pegels mit 1,529 m ist um 63 mm niedriger als dasjenige des letzten Jahrzehntes, und um 13 mm niedriger wie dasjenige des ganzen Jahrhunderts.

Über die Mittelwasser in den einzelnen Jahreszeiten gibt Abb. 5 Bl. 25 und Zusammenstellung III der höchsten, mittleren und niedrigsten Monatswasserstände in den 50 Jahren von 1868 bis 1917 Auskunft. Danach fällt das niedrigste Monatsmittel mit 1,47 m in den April, das höchste mit 1,64 m in den August. Das Wintermittel beträgt 1,54 m, das Sommermittel 1,59 m. Der Sommer ist also die Zeit höherer Mittelwasser.

Die Zusammenstellung IV gibt die höchsten, mittleren und niedrigsten Sommer- und Winterhalbjahrswasserstände und deren Mittel in den Jahrzehnten und für 50 Jahre von 1868 bis 1917 an.

Die Hochwasser. Das höchste Jahreshochwasser ist im Februar 1874 mit + 3,77 m, das niedrigste Jahreshochwasser im Jahre 1823 mit + 1,88 m beobachtet worden (Abb. 1 Bl. 25 und Zusammenstellung II).

Das mittlere Jahreshochwasser für 100 Jahre beträgt 2,510 m. — Für die ersten 50 Jahre ist das mittlere Jahreshochwasser + 2,430 m, für die letzten 50 Jahre + 2,589 m oder 0,159 m höher als in den ersten 50 Jahren.

Zusammenstellung I.

Umrechnung der Jahresmittel von Kalender- auf Abflußjahre.

Jahr	Summe der Beobachtungen im November	Summe der Beobachtungen im Dezember	Summe der Beobachtungen des November und Dezember	Die Jahressumme im Abflußjahre ist kleiner − als im Kalenderjahr (Unterschiede gegen die Vorjahre)	Die Jahressumme im Abflußjahre ist größer + als im Kalenderjahr (Unterschiede gegen die Vorjahre)	Jahressumme für das Kalenderjahr	Jahressumme für das Abflußjahr	Jahres-M.W. für Abflußjahr
1816	40,644	44,253	84,897					
1817	43,808	47,078	90,836	− 5,989		564,122 − 5,989	558,133	1,53
1818	42,579	46,659	89,238		+ 1,648	566,867 + 1,648	568,515	1,56
1819	44,541	44,515	89,056		+ 0,182	564,280 + 0,182	564,462	1,55
1820	43,651	46,372	90,023	− 0,967		566,739 − 0,967	565,772	1,55
1821	50,164	54,846	105,010	−14,987		584,942 −14,987	569,955	1,56
1822	38,813	40,251	79,064		+25,946	556,615 +25,946	582,561	1,60
1823	44,567	49,902	94,469	−15,405		511,733 −15,405	496,328	1,36
1824	52,413	55,709	108,122	−13,653		553,904 −13,653	540,251	1,48
1825	51,158	46,058	97,216		+10,906	574,245 +10,906	585,151	1,60
1826	43,076	42,056	85,132		+12,084	528,684 +12,084	540,768	1,48
1827	48,961	48,647	97,608	−12,476		557,556 −12,476	545,080	1,49
1828	45,351	55,081	100,432	− 2,824		573,170 − 2,824	570,346	1,56
1829	51,550	43,625	95,175		+ 5,257	548,427 + 5,257	553,684	1,52
1830	48,804	46,136	94,940		+ 0,235	549,710 + 0,235	549,945	1,51
1831	49,432	49,275	98,707	− 3,767		552,064 − 3,767	548,297	1,50
1832	43,233	45,508	88,741		+ 9,966	548,298 + 9,966	558,264	1,53
1833	47,078	53,826	100,904	−12,163		548,220 −12,163	536,057	1,47
1834	50,216	53,276	103,492	− 2,588		583,607 − 2,588	581,019	1,59
1835	42,448	51,681	94,129		+ 9,363	561,138 + 9,363	570,501	1,56
1836	46,058	51,393	97,451	− 3,322		574,504 − 3,322	571,182	1,56
1837	49,196	50,373	99,569	− 2,118		574,268 − 2,118	572,150	1,57
1838	47,888	49,170	97,058		+ 2,511	563,859 + 2,511	566,370	1,55
1839	37,244	36,825	74,069		+22,989	542,700 +22,989	565,689	1,55
1840	45,744	44,619	90,363	−16,294		554,420 −16,294	538,126	1,47
1841	45,195	48,045	93,240	− 2,877		536,557 − 2,877	533,680	1,46
1842	48,045	47,993	96,038	− 2,798		532,734 − 2,798	529,936	1,45
1843	46,633	57,330	103,963	− 7,925		566,424 − 7,925	558,499	1,53
1844	44,724	38,577	83,301		+20,662	573,929 +20,662	594,591	1,62
1845	46,502	52,649	99,151	−15,850		553,306 −15,850	537,456	1,47
1846	40,958	47,784	88,742		+10,409	570,607 +10,409	581,016	1,59
1847	46,633	45,613	92,246	− 3,504		546,493 − 3,504	542,989	1,49
1848	48,699	52,073	100,772	− 8,526		546,335 − 8,526	537,809	1,47
1849	49,694	41,350	91,044		+ 9,728	566,790 + 9,728	576,518	1,58
1850	52,335	52,413	104,748	−13,704		571,049 −13,704	557,345	1,53
1851	49,223	50,687	99,910		+ 4,838	569,614 + 4,838	574,452	1,57
1852	43,547	48,804	92,351		+ 7,559	554,732 + 7,559	562,291	1,54
1853	45,064	41,350	86,414		+ 5,937	540,871 + 5,937	546,808	1,50
1854	51,027	53,067	104,094	−17,680		581,934 −17,680	564,254	1,55
1855	43,625	45,613	89,238		+14,856	551,621 +14,856	566,477	1,55
1856	47,575	50,844	98,419	− 9,181		564,042 − 9,181	554,861	1,52
1857	39,911	49,667	89,578		+ 8,841	523,764 + 8,841	532,605	1,46
1858	47,444	43,207	90,651	− 1,073		548,325 − 1,073	547,252	1,50
1859	45,143	42,501	87,644		+ 3,007	556,590 + 3,007	559,597	1,53
1860	43,390	41,925	85,315		+ 2,329	536,191 + 2,329	538,520	1,47
1861	42,265	49,772	92,037	− 6,722		555,570 − 6,722	548,848	1,50
1862	42,108	37,557	79,665		+12,372	531,219 +12,372	543,591	1,49
1863	46,581	52,151	98,732	−19,067		568,853 −19,067	549,786	1,51
1864	42,030	36,433	78,463		+20,269	544,819 +20,269	565,088	1,54
1865	45,221	47,026	92,247	−13,784		535,719 −13,784	521,935	1,43
1866	49,353	52,073	101,426	− 9,179		559,337 − 9,179	550,158	1,51
1867	56,650	56,598	113,248	−11,822		582,063 −11,822	570,241	1,56
1868	50,373	46,031	96,404		+16,844	578,218 +16,844	595,062	1,63
1869	54,950	47,078	102,028	− 5,624		568,803 − 5,624	563,179	1,54
1870	45,378	46,842	92,220		+ 9,808	545,765 + 9,808	555,573	1,52
1871	44,253	46,947	91,200		+ 1,020	539,065 + 1,020	540,085	1,48
1872	46,633	47,313	93,946	− 2,746		540,923 − 2,746	538,177	1,47
1873	50,321	59,004	109,325	−15,379		575,918 −15,379	560,539	1,54
1874	51,603	49,118	100,721		+ 8,604	594,802 + 8,604	603,406	1,65
1875	41,951	43,808	85,759		+14,962	535,665 +14,962	550,627	1,51
1876	44,384	41,376	85,760	− 0,001		557,585 − 0,001	557,584	1,52
1877	50,739	47,836	98,575	−12,815		570,398 −12,815	557,583	1,53
1878	47,757	49,510	97,267		+ 1,308	593,281 + 1,308	594,589	1,63

Jahr	Summe der Beobachtungen im November	Summe der Beobachtungen im Dezember	Summe der Beobachtungen des November und Dezember	Die Jahressumme im Abflußjahre ist kleiner − als im Kalenderjahr (Unterschiede gegen die Vorjahre)	Die Jahressumme im Abflußjahre ist größer + als im Kalenderjahr (Unterschiede gegen die Vorjahre)	Jahressumme für das Kalenderjahr	Jahressumme für das Abflußjahr	Jahres-M.W. für Abflußjahr
1879	53,852	47,261	101,113	− 3,846		576,858 − 3,846	573,012	1,57
1880	51,210	59,580	110,790	− 9,677		581,934 − 9,677	572,257	1,56
1881	43,625	45,848	89,473		+21,317	561,455 +21,317	582,772	1,60
1882	42,448	39,336	81,784		+ 7,689	554,838 + 7,689	562 527	1,54
1883	49,092	56,258	105,350	−23,566		557,663 −23,566	534,097	1,46
1884	49,877	50,792	100,669		+ 4,681	564,360 + 4,681	569,041	1,55
1885	44,410	50,792	95,202		+ 5,467	555,780 + 5,467	561,247	1,54
1886	41,010	49,824	90,834		+ 4,368	536,424 + 4,368	540,792	1,48
1887	47,405	53,250	100,655	− 9,821		568,009 − 9,821	558,188	1,53
1888	43,808	51,864	95,672		+ 4,983	556,982 + 4,983	561,965	1,54
1889	45,100	44,410	89,510		+ 6,162	559,758 + 6,162	565,920	1,55
1890	50,390	43,790	94,180	− 4,670		571,860 − 4,670	567,190	1,55
1891	44,130	48,850	92,980		+ 1,200	552.960 + 1,200	554,160	1,52
1892	40,280	51,370	91,650		+ 1,330	563,890 + 1,330	565,220	1,54
1893	52,690	49,960	102,650	−11,000		581,720 −11,000	570,720	1,56
1894	45,550	48,560	94,110		+ 8,540	563,820 + 8,540	572,360	1,57
1895	48,230	48,590	96,820	− 2,710		569,360 − 2,710	566,650	1,55
1896	47,240	43,180	90,420		+ 6,400	565.570 + 6,400	571,970	1 56
1897	44,610	48,150	92,760	− 2,340		559,870 − 2,340	557,530	1,53
1898	44,960	54,110	99,070	− 6,310		588.83 − 6,31	582,52	1,60
1899	57,44	55,45	112,89	−13,82		618,26 −13,82	604,44	1,66
1900	45,45	49,36	94,81		+18,08	561,75 +18,08	579,83	1,59
1901	50,13	54,11	104,24	− 9,43		553,82 − 9,43	544,39	1,49
1902	45,69	44,45	90,14		+14,10	569,67 +14,10	583,77	1,60
1903	50,77	46,76	97 53	− 7,39		605.71 − 7,39	598,32	1,64
1904	50,32	55,88	106,20	− 8,67		568.36 − 8,67	559,69	1,53
1905	46,07	54,23	100,30		+ 5,90	590,86 + 5,90	596,76	1,63
1906	43,73	53,80	97,53		+ 2,77	588,54 + 2,77	591,31	1,62
1907	40,90	45,19	86,09		+11,44	575,94 +11,44	587,38	1,61
1908	42,77	49,71	92,48	− 6,39		564,05 − 6,39	557,66	1,52
1909	53,25	48,19	101,44	− 8,96		573,46 − 8,96	564,50	1,55
1910	45,54	44,76	90,30		+11,14	572,42 +11,14	583,56	1,60
1911	49,27	45,92	95,19	− 4,89		587,77 − 4,89	582,88	1,60

Zusammenstellung II
der höchsten, mittleren und niedrigsten Jahreswasserstände für 100 Abflußjahre [1817 bis 1916].

Jahr	Jahres- N.W.	Jahres- M.W.	Jahres- H.W.	Summe der Mittel	Jahr	Jahres- N.W.	Jahres- M.W.	Jahres- H.W.	Summe der Mittel
1816	0,94	1,42	1,88						
1817	0,86	1,53	2,43		1867	0,99	1,56	2,35	
1818	0,94	1.56	2,30		1868	1,07	1,63	3,14	
1819	0,94	1,55	2,20		1869	0,37	1,54	2,43	
1820	0,94	1,55	1,96		1870	0,94	1,52	2,41	
1821	0,94	1,56	2,51		1871	0.84	1,48	2,20	
1822	1,10	1,60	3,19		1872	1,02	1,47	2,28	
1823	0,94	1,36	1,88		1873	0,94	1,54	2,35	
1824	0,94	1,48	2,35		1874	0,99	1,65	3,77	
1825	0,94	1,60	3,14		1875	0,84	1,51	3,06	
1826	0,94	1.48	2,20		1876	0,78	1.52	2.28	
Summe 1. Jahrzehnt	9,48	15,27	24,16	15,27	Summe 6. Jahrzehnt	8,78	15,42	26,27	91,48
1827	1,10	1,49	2,20		1877	0.68	1,53	2,35	
1828	1,10	1,56	2,83		1878	0,68	1,63	2,43	
1829	1,10	1,52	2,35		1879	1,10	1,57	2,07	
1830	1,10	1,51	2,20		1880	0,89	1,56	2,90	
1831	1,10	1,50	2,04		1881	0,89	1,60	2,62	
1832	0,94	1,53	2,35		1882	0,47	1,54	2,75	
1833	0,94	1,47	2,20		1883	0,65	1,46	2,25	
1834	1,10	1,59	2,67		1884	0,86	1,55	3.45	
1835	0,94	1,56	2,20		1885	0,77	1,54	2,04	
1836	0.94	1,56	2.35		1886	0,81	1.48	2,34	
Summe 2. Jahrzehnt	10,36	15,29	23,39	30,56	Summe 7. Jahrzehnt	7,80	15,46	25,21	106,94
1837	1,26	1,57	2,04		1887	0,60	1,53	3,00	
1838	1,07	1,55	2,20		1888	0,60	1,54	2,51	
1839	0,92	1,55	2,38		1889	0,68	1,55	2,59	
1840	0,68	1,47	2,09		1890	0,68	1,55	2,60	
1841	0,68	1,46	1,94		1891	0,88	1,52	2,50	
1842	0,68	1,45	2,17		1892	0.88	1,54	2,60	
1843	1,10	1,53	2,90		1893	0,74	1,56	2,45	
1844	1,13	1,62	2,59		1894	0,85	1,57	2,50	
1845	0,79	1,47	3,34		1895	0,56	1,55	2,24	
1846	0,99	1,59	2,98		1896	0.98	1,56	2,70	
Summe 3. Jahrzehnt	9,30	15,26	24,63	45,82	Summe 8. Jahrzehnt	7,45	15,47	25,69	122,41
1847	1,07	1,49	2,20		1897	0.56	1,53	2,60	
1848	0,84	1,47	2,41		1898	0,88	1,60	2,40	
1849	0,65	1,58	2,77		1899	0,70	1,66	2,90	
1850	0,60	1,53	2,56		1900	1,00	1,59	3,30	
1851	0,92	1,57	2,43		1901	0,70	1,49	2,40	
1852	0,89	1,54	2,30		1902	1,00	1,60	2,60	
1853	0,79	1,50	2.41		1903	1,00	1,64	3,10	
1854	0,84	1,55	2,43		1904	0,84	1,53	2,20	
1855	1,02	1,55	2,75		1905	0,86	1,63	3,00	
1856	0.52	1.52	2.51		1906	0,90	1.62	2,65	
Summe 4. Jahrzehnt	8,14	15,30	24,77	61,12	Summe 9. Jahrzehnt	8,44	15,89	27,15	138,30
1857	0,58	1,46	2,35		1907	0,78	1,61	2,70	
1858	0,55	1,50	2.88		1908	0,96	1,52	2,80	
1859	0,63	1,53	2,25		1909	0,76	1,55	2,26	
1860	0,73	1,47	2,01		1910	0.98	1,60	2,56	
1861	1,05	1,50	2,04		1911	0,86	1,60	2,42	
1862	0,42	1,49	2,12		1912	0,70	1,57	2,24	
1863	0,81	1,51	2,28		1913	0,52	1,62	2,22	
1864	0,89	1,54	2,83		1914	1,06	1.69	3,30	
1865	0,58	1,43	3,30		1915	0,92	1,55	2,26	
1866	0.89	1,51	2,51		1916	0,96	1.61	2.38	
Summe 5. Jahrzehnt	7,13	14,94	24,57	76,06	Summe 10. Jahrzehnt	8,50	15,92	25,14	154,22

Mittel des	N.W. m	M.W. m	H.W. m		Mittel des	N.W. m	M.W. m	H.W. m	
1. Jahrz.	0,948	1,527	2,416		6. Jahrz.	0,878	1,542	2,627	
2. „	1,036	1,529	2,339		7. „	0,780	1,546	2,521	
3. „	0,930	1,526	2,463		8. „	0,745	1,547	2,569	
4. „	0,814	1,530	2,477		9. „	0,844	1,589	2,715	
5. „	0,713	1,494	2,457		10. „	0,850	1,592	2,514	
Mittel der ersten 50 J.	0,888	1,521	2,430		Mittel der letzten 50 J.	0,819	1,563	2,589	

Jahrhundert-Mittel: N.W. 0,854, M.W. **1,542**, H.W. 2,510

Zusammenstellung III der niedrigsten, mittleren und höchsten Monatswasserstände für 50 Jahre [1868 bis 1917].

Jahr	November			Dezember			Januar			Februar			März			April		
	N.W.	M.W.	H.W.	N.W.	M.W.	H.W.	N.W.	M.W.	H.W.	N.W.	M.W.	H.W.	N.W.	M.W.	H.W.	N.W.	M.W.	H.W.
1917	0,97	1,48	2,32	1,31	1,55	1,80	1,18	1,57	2,30	0,80	1,43	1,78	1,06	1,42	1,96	1,26	1,54	1,78
1916	1,16	1,51	2,24	1,28	1,66	2,10	0,96	1,75	2,38	1,39	1,68	2,10	1,10	1,39	1,80	1,20	1,50	1,80
1915	0,92	1,35	2,02	1,18	1,59	2,20	0,94	1,52	1,92	1,06	1,43	1,62	1,12	1,50	2.00	1,20	1,53	1,76
1914	1,42	1,71	2,12	1,38	2,13	3,20	1,06	1,81	3.30	1,36	1,71	1,98	1,26	1,62	1,90	1,34	1,51	1,80
1913	1,18	1,61	1,90	1,32	1,78	2,20	0.52	1,63	1,96	1,00	1,54	2,00	1,28	1,70	2,06	1,40	1,62	2,22
1912	0.84	1,64	2,10	1,08	1,48	1,84	0,70	1,44	2,10	1,28	1,53	1,86	1,26	1,46	1,74	1,38	1,63	2,24
1911	1,00	1,52	2,02	0,86	1,44	2,04	1,08	1,66	2,40	0,96	1,72	2,36	1,28	1,61	2,20	1,26	1,53	2,42
1910	1,27	1,78	2,38	0,98	1,55	2,56	1,28	1,74	2,10	0,96	1,58	1,86	1,08	1,52	1,86	1,18	1,49	1,74
1909	0,76	1,43	1,90	1,26	1,60	2,26	0,84	1,47	1,86	1,08	1,61	1,93	1,20	1,37	1,88	1,22	1,44	1,70
1908	0,96	1,36	1,78	0,98	1,46	1,80	1,10	1,54	2,20	1,44	1,84	2,80	1,04	1,39	1,87	1,12	1,35	1,66
1907	1,18	1,46	2,06	1,14	1,74	2,70	1,06	1,60	2,02	0,78	1,45	2,18	1,06	1,67	2,34	1,26	1,49	1,76
1906	0,90	1,54	2,04	1,24	1,75	2,54	0,98	1,64	2,22	1,26	1,63	2,02	1,28	1,75	2.65	1,22	1,53	1,90
1905	0,86	1,68	2,20	1,25	1,80	3,00	1,26	1,72	2,90	1,28	1,74	2,18	1,04	1,36	1,60	1,14	1,49	2,24
1904	1,36	1,69	2,20	1,10	1,51	2,01	0,90	1,35	1,68	1,26	1,52	1,90	1,03	1,30	1,57	0.84	1,37	1,66
1903	1,00	1,52	1,84	1,02	1,43	2,20	1,30	1,55	2 38	1,22	1,81	2,62	1,24	1,64	2,04	1,42	1,81	3,10
1902	1,16	1,67	2,42	1,20	1,75	2,60	1,00	1,78	2,50	1,28	1,53	2,00	1,04	1,50	2,08	1,10	1,37	1,90
1901	1,26	1,52	1,82	0,70	1,59	2,40	1,10	1,51	2,12	1,27	1,58	2,36	0,98	1,40	1,63	0,92	1,43	1,68
1900	1,40	1,91	2,66	1,16	1,79	3,30	1,00	1,41	2,06	1,00	1,42	1,82	1,20	1,48	2,10	1,00	1,40	1,78
1899	0,72	1,50	1,90	0,70	1,75	2,90	1,46	1,82	2,68	1,38	1,68	2,20	1,30	1,67	2,38	1,36	1,59	1,72
1898	0,94	1,49	2,30	1,06	1,55	2,26	1,18	1,64	2,30	1,44	1,84	2,40	1,30	1,59	1,96	1,30	1,49	1,68
1897	1,10	1,57	2,60	0,74	1,39	1,88	1,16	1,42	1,78	0.56	1,45	2,10	1,08	1,48	1,72	1,26	1,49	1,72
1896	1,22	1,61	2,00	0,98	1,57	2,00	1,20	1,50	2,25	1,20	1,68	2,70	1,28	1,55	2,10	1,30	1,47	1,64
1895	0,70	1,52	1,84	0,56	1,57	2,08	1,20	1,61	1,96	1,14	1,46	1,92	0,86	1,46	1,78	1,28	1,55	1,92
1894	0,90	1,76	2,40	0,95	1,61	2,20	0,85	1,43	2,20	1,16	1,81	2,50	1,34	1,61	1,98	1,20	1,36	1,64
1893	0,88	1,34	1,72	1,10	1,66	2,24	0,74	1,49	2,26	1,26	1,50	1,98	1,10	1,59	2,05	1,28	1,53	1,95
1892	1,04	1,47	2,00	0,88	1,58	2,35	0,90	1,60	2,20	1,32	1,65	2,60	1,12	1,31	1,56	1,20	1,46	1,64
1891	1,25	1,68	2,50	0,95	1,41	1,90	1,00	1,45	2,22	0,90	1,46	2,30	0,88	1,57	2,10	1,18	1,39	1,68
1890	0,95	1,50	2,00	0,70	1,43	1,84	1,08	1,59	2,15	1,18	1,51	1,94	0,68	1,41	1,63	1,24	1,50	1,74
1889	0,68	1,46	2,07	1,28	1,67	2,28	0,89	1,48	1,96	0,78	1,76	2,59	0,84	1,48	2,04	1,31	1,50	1,67
1888	1,00	1,58	2,09	0,60	1,72	2,46	0,99	1,51	2,14	1,05	1,52	2,35	0,78	1,39	2,51	0,89	1,39	2,12
1887	1,07	1,37	1,73	1,18	1,61	1,83	0,60	1,31	1,73	1,07	1,41	2,14	1,10	1,52	1,91	1,26	1,49	1,83
1886	0,99	1,48	1,83	0,81	1,64	2,33	1,15	1,65	2,35	1,02	1,26	1,49	0,84	1,16	1,41	0,89	1,35	1,57
1885	1,41	1,66	1,83	1,26	1,64	2.04	1,02	1,36	1,70	0,77	1,35	1,70	1,26	1,56	1,89	1,23	1,38	1,54
1884	1,31	1,64	2,14	1,33	1,81	3,45	1,31	1,71	2,59	1,49	1,74	2,07	0,86	1,31	1,67	1,12	1,29	1,99
1883	0,94	1,42	1,96	0,94	1,27	2,04	0,86	1,31	1,91	1,05	1,30	1,78	0,65	1,45	2,25	1,26	1,39	1,62
1882	0,89	1,45	2,12	0,47	1,48	1,78	1,10	1,68	2,43	1,05	1,67	2,75	1,26	1,74	2,09	1,26	1,43	1,80
1881	1,15	1,71	2,62	1,54	1,93	2,56	1,36	1,70	2,22	1,18	1,50	1,96	1,05	1,38	1,62	1,26	1,47	1,67
1880	1,36	1,79	2,51	1,18	1,52	2,04	1,36	1,73	2,41	0,89	1,40	1,64	1,31	1,57	2,17	1,20	1,39	1,78
1879	1,26	1,59	1,99	1,33	1,60	2,01	1,28	1.56	1,96	1,18	1,48	1,80	1,10	1,50	2,04	1,18	1,43	1,73
1878	1,31	1,69	2,28	0,68	1,54	1,99	1,10	1,62	2,12	1,49	1,65	2,09	1,49	1,79	2,43	1,31	1,47	1,73
1877	1,15	1,48	1,91	0,68	1,33	1,62	1,05	1,34	1,62	1,18	1,59	2,35	1,20	1,54	1,88	1,28	1,45	1,73
1876	0,86	1,40	1,94	0,78	1,41	2,09	1,12	1,44	1,83	1,18	1,48	1,86	1,33	1,59	1,86	1,26	1,46	1,64
1875	1,10	1,72	2,22	1,10	1,58	2,12	0,99	1,42	3,06	1,02	1,44	1,94	0,84	1,28	1,91	1,26	1,47	1,67
1874	0,99	1,68	2,12	1,15	1,90	3,14	1,26	1,80	3,22	1,44	1,81	3,77	1,10	1,51	1,91	1,20	1,59	1,75
1873	1,31	1,55	2,35	0,99	1,53	2,20	1,20	1,59	1,96	1,10	1,40	1,70	1,10	1,38	1,73	0,94	1,34	1,80
1872	1,15	1,48	1,96	1,10	1,51	2,28	1,23	1,47	1,96	1,02	1,19	1,46	1,02	1,32	1,73	1,26	1,94	1,73
1871	1,15	1,51	1,94	1,15	1,51	1,96	0,86	1,30	1,47	0,84	1,14	1,47	1,07	1,46	2,20	1,36	1,58	1,91
1870	1,57	1,83	2,41	0.94	1,52	1,94	1,05	1,44	1,94	0,94	1,18	1,44	1,10	1,39	1,57	1,15	1,40	1,65
1869	0,79	1,68	2,43	0.37	1,48	2,15	1,05	1,35	1,62	1,07	1,61	2,12	1,13	1,50	1,96	1,05	1,32	1,57
1868	1,36	1,89	3,14	1,47	1,83	2,33	1,07	1,42	1,94	1,18	1,87	2,41	1,36	1,65	2,51	1,13	1,53	1,94
Summe . . .	78,88			80,15			77,43			77,54			74,79			73,47		
Mittel	1,578			1,603			1,549			1,551			1,496			1,469		

Mai			Juni			Juli			August			September			Oktober			Jahr
N.W.	M.W.	H.W.	N.W.	M.W.	H.W.	N.W.	M.W.	H.W.	N.W.	M.W.	H.W.	N.W.	M.W.	H.W.	N.W.	M.W.	H.W.	
1,21	1,49	1,84	1,31	1,46	1,64	1,40	1 58	1,86	1,24	1,49	1,78	1,46	1,69	2,10	1,12	1,68	1,96	1917
1,30	1,51	1,91	1,34	1,57	1,88	1,46	1,66	1,89	1,52	1,75	2,24	1,29	1,65	2,28	1,10	1,66	2,10	1916
1,24	1,51	1,69	1,40	1,59	1,80	1,32	1,59	1,76	1,52	1,71	1,98	1,44	1,76	2,26	1,12	1,48	2,12	1915
1,46	1,64	1,90	1,40	1,56	1,82	1,40	1,58	1,76	1.44	1,64	1,88	1,34	1,67	2,70	1,18	1,67	2,28	1914
1,20	1,44	1,74	1,30	1,61	1,88	1,54	1,73	2,08	1,50	1,72	2,08	1,15	1,53	1,92	0,90	1,46	1,92	1913
1,28	1,57	1,77	1,30	1,64	1,80	1,30	1,49	1,70	1,36	1,65	1,86	1,34	1,79	2,16	1,02	1,53	1,90	1912
1,30	1,56	1,72	1,26	1,50	1,84	1,44	1,67	2,06	1,46	1,61	1,88	1,52	1,78	2,30	0,98	1,57	2,08	1911
1,28	1,56	2.04	1,34	1,51	1,70	1,44	1,68	2,06	1,40	1,64	1,98	1,32	1,57	1,94	1,20	1,57	2,40	1910
1,30	1,47	1,68	1.38	1,58	1,80	1,38	1,68	2,20	1,52	1,77	2,06	1,30	1,63	1,86	1,06	1,52	1,72	1909
1,29	1,47	1,64	1,28	1,51	1,73	1,36	1,53	1,74	1,40	1,65	1,82	1,42	1,69	1,98	1,18	1,50	2,18	1908
1,36	1,57	1,80	1,34	1,50	1,90	1,46	1,69	2,12	1,42	1,80	2,02	1,40	1,78	2,10	1,38	1,54	1,74	1907
1,32	1,44	1,58	1,44	1,62	1,88	1,45	1,67	1,90	1,40	1,75	2,18	1,40	1,68	2,00	1,12	1,45	1,74	1906
1,36	1,49	1,64	1,33	1,47	1,73	1,32	1,69	2.40	1,52	1,72	2,30	1,40	1,72	2,08	1 18	1,73	2,04	1905
1,28	1,52	1,76	1,36	1,56	2,08	1,54	1,73	2,02	1,49	1,71	2,02	1,30	1,53	1,82	1,24	1,55	2,15	1904
1,38	1,58	1,76	1,38	1,55	1,70	1,42	1,64	1,84	1,58	1,82	2,15	1,18	1,76	2,40	1,20	1,58	1,94	1903
1,28	1,46	1,62	1,32	1,53	1,82	1,44	1,68	1,94	1,56	1,73	1,90	1,46	1,66	1,98	1,18	1,52	1,80	1902
1,25	1,35	1,50	1.20	1,49	1,68	1,30	1,51	1,69	1,30	1,56	1,82	1,28	1,49	1,90	1,06	1,48	2,10	1901
1,34	1,53	1,76	1,36	1,51	1,70	1,46	1,60	1,82	1,46	1,60	2,40	1,23	1,64	2,12	1,32	1,75	2.32	1900
1,26	1,52	1,88	1,40	1.63	2,18	1,40	1,54	1,94	1,50	1,71	2,00	1,30	1,71	1,96	1,20	1,74	2,72	1899
1,18	1,44	1,68	1,38	1,53	1,72	1,42	1,77	2,15	1,36	1,63	1,92	1,50	1,72	2,20	0,88	1,48	1,84	1898
1,36	1,52	1,72	1,34	1,49	1,62	1,42	1,68	1,94	1,36	1,56	1,84	1,24	1,64	1,90	1,38	1,62	2,00	1897
1,36	1,56	1,82	1,38	1,55	1,80	1,50	1,67	1,88	1,20	1,61	1,80	1,26	1,49	1,72	1,08	1,50	1,72	1896
1,26	1,40	1,56	1,22	1,44	1,80	1,32	1,60	1,78	1,38	1,60	1,80	1,54	1,73	2,10	1,40	1,68	2,24	1895
1,16	1,42	1,68	1,27	1,51	1,84	1.26	1,54	1,80	1,40	1,63	1,90	1,32	1,67	2,30	1,24	1,50	2,10	1894
1,26	1,45	1,76	1,36	1,54	1,65	1,38	1,53	1,80	1,40	1,64	2,05	1,48	1,75	2,10	1,40	1,74	2,45	1893
1,28	1,53	1,92	1,30	1,55	2,10	1,46	1,66	1,90	1,46	1,62	1,84	1,38	1,61	1,78	1,13	1,49	1,74	1892
1,20	1,42	1,53	1,22	1,45	1,72	1,42	1,53	1,80	1,30	1,63	1,90	1,30	1,62	2,00	1,22	1,56	2,00	1891
1,27	1,43	1,62	1,48	1,63	1,90	1,42	1,64	1,82	1,34	1,60	1,84	1,30	1,60	2,20	0.80	1,80	2,60	1890
1,20	1,30	1,43	1,29	1,46	1,74	1,34	1,61	2,16	1,48	1,70	1,92	1,26	1,63	2,30	1,04	1,55	1,90	1889
1,20	1,51	1,96	1,23	1,47	1,75	1,36	1,58	1,88	1,36	1,60	1,96	1,15	1,50	1,86	1,10	1,65	2,14	1888
1,31	1,49	1,64	1,31	1,58	2,04	1,52	1,60	1,73	1,46	1,68	1,94	1,41	1,63	2,75	1,23	1,64	3,00	1887
1,28	1,40	1,52	1,28	1,47	1,78	1,57	1,67	1,88	1,39	1,65	1,83	1,39	1,59	1,83	1,02	1,44	1,78	1886
1,26	1,39	1,62	1,44	1,59	1,78	1,44	1,59	1,96	1,31	1,61	1,78	1,44	1,65	1,88	1,41	1,65	1,88	1885
1,20	1,45	1,70	1,41	1,59	1,80	1,26	1,55	1,73	1,33	1,53	1,83	1,28	1,44	1,60	1,02	1,60	2,07	1884
1,26	1,44	1,62	1,39	1,55	1,78	1,39	1,58	2,04	1,52	1,66	1,80	1,39	1,61	2,01	1,10	1,57	1,83	1883
1,20	1,49	2,04	1,39	1.58	1,86	1,31	1,53	1,67	1,28	1,68	2,04	1,26	1,57	1,83	0,89	1,20	1,44	1882
1,26	1,45	1,75	1,33	1,59	1,99	1,52	1,63	1,80	1,60	1,74	1,83	1,36	1,61	1,99	0,89	1,46	1,83	1881
1,26	1,50	1,73	1,31	1,51	1,73	1,39	1,56	1,73	1,33	1,59	1,88	1,26	1,47	1,70	1,39	1,71	2,90	1880
1,10	1,45	1,67	1,44	1,55	1,73	1,52	1,72	1,88	1,39	1,60	1,88	1,41	1,62	1,78	1,18	1,72	2,07	1879
1,10	1,41	1,75	1,46	1,71	1,96	1,52	1,74	1,94	1,31	1,56	1,88	1,41	1,68	2,01	1,28	1,67	1,99	1878
1,23	1,41	1,67	1,31	1,47	1,64	1,54	1,67	1,80	1,46	1,69	1,94	1,49	1,71	1,99	1,02	1,64	1,96	1877
1,33	1,44	1,60	1,41	1,56	1,73	1,44	1,65	1,91	1,46	1,59	1,73	1,44	1,69	2,28	1,20	1,56	2,04	1876
1,28	1,51	1,75	1,41	1,56	1,73	1,31	1,51	1,64	1,28	1,51	1,94	1,15	1,57	2,12	1,15	1,53	1,91	1875
1,23	1,47	1,88	1,33	1,59	1,80	1,46	1,58	1,73	1,44	1,68	1,91	1,39	1,65	1,91	1,31	1,58	1,88	1874
1,36	1,55	1,73	1,44	1,57	2,35	1,46	1,62	1,83	1,44	1,63	1,86	1,31	1,60	2,20	1,28	1,65	1,91	1873
1,31	1,45	1,73	1,33	1,50	1,78	1,33	1,53	1,70	1,23	1,57	1,91	1,39	1,58	1,96	1,02	1,55	2,01	1872
1,26	1,49	1,81	1,33	1,52	1,83	1,39	1,51	2,04	1,41	1,65	1,96	1,26	1,60	2,04	1,10	1,44	2,04	1871
1,33	1,54	1,99	1 33	1,57	1,73	1,52	1,65	2,07	1,36	1,52	1,83	1.10	1,65	2,20	1,41	1,58	2,20	1870
1,20	1,44	1,52	1,44	1,60	1,78	1,33	1,61	1,83	1,36	1,62	1,83	1,26	1,67	2,12	0,94	1,66	2,04	1869
1,41	1,55	1,78	1,52	1,63	1,73	1,39	1,57	1,81	1,26	1,46	1,73	1,41	1,64	1,96	1,26	1,49	2,01	1868
73,98			77,30			80,82			82,07			81,92			78,89			
1,480			1,546			1,616			1,641			1,638			1,578			

Zusammenstellung III (Schluß).

	Nov.	Dez.	Jan.	Febr.	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Okt.		Wintermittel	Sommermittel	Jahresmittel	Schwankung
	⟨—— Winter-					——⟩	⟨—— Sommer-					——⟩					
	⟨—— Abflußjahr											——⟩					
N.W.	0,68	**0,37**	0,52	0,65	0,56	0,84	1,10	1,20	**1,26**	1,20	1,10	0,80	—	0,60	1,11	0,86	0,89
M.W.	1,58	1,60	1,55	1,55	1,50	**1,47**	1,48	1,55	1,62	**1,64**	**1,64**	1,58	—	1,54	1,59	1,563*	0,17
H.W.	3,14	3,45	3,30	**3,77**	2,65	3,10	**2,01**	2,35	2,40	2,40	2,75	3,00	—	3,24	2,49	2,49	1,73
Schwankung	2,46	3,08	2,78	**3,21**	2,00	2,26	**0,94**	1,15	1,14	1,20	1,65	2,20	—	H.H.W.—N.N.W.= 3,40			

* M.W. für die Jahre 1816—1896 = 1,529.

Aus der auf Abb. 3 Bl. 25 enthaltenen Darstellung der mittleren Jahreshochwasser in den einzelnen Jahrzehnten des Beobachtungszeitraumes ergibt sich, daß die Hochwasser in der zweiten Hälfte des Jahrhunderts durchschnittlich höhere gewesen sind, als in der ersten. Die größte Höhe zeigt das Jahrzehnt von 1897 bis 1906 mit + 2,715 m, die kleinste das Jahrzehnt von 1827 bis 1836 mit + 2,339 m.

Die Hochwasser der Sommer- und Winterhalbjahre und deren Mittel für die Jahrzehnte und für die 50 Jahre von 1868 bis 1917 sind in Zusammenstellung IV enthalten.

Die Niedrigwasser. Das niedrigste Jahresniedrigwasser ist mit + 0,37 m im Jahre 1869, das höchste mit + 1,26 m im Jahre 1837 beobachtet worden (Abb. 1 Bl. 25 und Zusammenstellung II).

Das mittlere Jahresniedrigwasser für 100 Jahre beträgt 0,854 m.

Für die ersten 50 Jahre ist das mittlere Jahresniedrigwasser + 0,888 m. Für die letzten 50 Jahre + 0,819 m oder 0,069 m weniger.

Während also für Hoch- und Mittelwasser in der zweiten Hälfte der Beobachtungszeit im Mittel höhere Werte sich ergeben als in der ersten Hälfte, ist beim Niedrigwasser das Umgekehrte der Fall. Bemerkenswert ist auch, daß das höchste und das niedrigste M.W. der Jahrzehnte in der ersten

Zusammenstellung V

der Häufigkeit der Monats- und Halbjahres-Wasserstände für die 50 Abflußjahre 1868 bis 1917.

Wasserstände von m	Wasserstände bis m	Nov.	Dez.	Jan.	Febr.	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Okt.	Winter	Sommer	Jahr
		Zeitraum von 1868 bis 1917 (50 Jahre)														
3,79	3,70	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	1	.	1
3,69	3,60	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
3,59	3,50	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
3,49	3,40	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	.	1
3,39	3,30	.	1	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	2	.	2
3,29	3,20	1	1	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	3	.	3
3,19	3,10	.	1	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	2	.	2
3,09	3,00	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	45 { 1	1	51 { 2
2,99	2,90	.	1	1	.	.	.	.	.	.	.	.	1	2	1	3
2,89	2,80	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	1	6 { .	1
2,79	2,70	1	1	.	2	.	.	.	.	.	.	2	1	4	3	7
2,69	2,60	5	2	1	2	1	.	.	.	.	.	.	1	11	1	12
2,59	2,50	3	6	3	3	2	.	.	.	.	.	.	.	17	.	17
2,49	2,40	5	7	4	2	1	1	.	.	1	1	1	2	20	5	25
2,39	2,30	7	8	10	11	2	.	.	1	.	1	3	1	38	6	44
2,29	2,20	13	28	9	8	5	3	.	.	1	1	7	4	66	13	79
2,19	2,10	24	25	15	23	7	3	.	2	3	2	11	11	97	29	126
2,09	2,00	31	56	30	20	19	1	2	2	9	10	18	21	157	65	222
1,99	1,90	68	73	70	63	39	13	4	7	17	38	59	56	326	181	507
1,89	1,80	118	159	118	102	76	25	10	28	88	156	145	102	598	529	1127
1,79	1,70	200	160	173	150	140	62	63	131	272	341	289	216	885	1312	2197
1,69	1,60	230	210	210	222	188	195	196	331	522	478	389	334	1256	2250	3506
1,59	1,50	222	229	190	214	251	330	374	467	397	307	302	285	1436	2132	3568
1,49	1,40	239	265	263	222	312	403	530	420	195	160	185	254	1704	1744	3448
1,39	1,30	165	157	231	145	237	269	381	99	42	48	69	145	1204	684	1888
1,29	1,20	76	78	122	100	154	160	83*	12	3	7	15	58	690	178	868
1,19	1,10	45	37	60	65	75	27	7	.	.	.	5	31	309	43	352
1,09	1,00	22	16	20	36	25	4	.	.	.	.	.	11	123	11	134
0,99	0,90	14	11	7	9	6	2	.	.	.	.	.	6	49	12 { 6	55
0,89	0,80	6	5	5	8	7	2	.	.	.	.	.	6	33	6	39
0,79	0,70	4	5	2	2	1	.	.	.	.	.	.	.	108 { 14	.	120 { 14
0,69	0,60	1	3	1	.	2	.	.	.	.	.	.	.	7	.	7
0,59	0,50	.	1	1	1	.	.	.	.	.	.	.	.	3	.	3
0,49	0,40	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	.	1
0,39	0,30	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	.	1
Summe:		1500	1550	1550	1412	1550	1500	1550	1500	1550	1550	1500	1550	9062	9200	18262

Zusammenstellung IV der höchsten, mittleren und niedrigsten Sommer- und Winterwasserstände für 50 Abflußjahre von 1868 bis 1917.

Jahr	Winterhalbjahr			Sommerhalbjahr		
	N.W.	M.W.	H.W.	N.W.	M.W.	H.W.
1868	1,07	1,70	3,14	1,26	1,56	2,01
1869	0,67	1,49	2,43	1,20	1,60	2,12
1870	0,94	1,46	2,41	1,10	1,59	2,20
1871	0,84	1,42	2,20	1,10	1,54	2,04
1872	1,02	1,41	2,28	1,02	1,53	2,01
1873	0,94	1,47	2,35	1,28	1,60	2,35
1874	0,99	1,72	3,77	1,23	1,59	1,91
1875	0,84	1,49	3,06	1,15	1,53	2,12
1876	0,78	1,46	2,09	1,20	1,58	2,28
1877	0,68	1,46	2,35	1,10	1,60	1,99
	8,77	15,08	26,08	11,64	15,72	21,03
1878	0,68	1,63	2,43	1,10	1,63	2,01
1879	1,10	1,53	2,04	1,10	1,61	2,07
1880	0,89	1,57	2,51	1,26	1,56	2,90
1881	1,05	1,62	2,62	0,89	1,58	1,99
1882	0,47	1,58	2,75	0,89	1,51	2,04
1883	0,65	1,36	2,25	1,10	1,57	2,04
1884	0,86	1,58	3,45	1,02	1,53	2.07
1885	0,77	1,49	2,04	1,26	1,58	1.96
1886	0,81	1,42	2,35	1,02	1,54	1,88
1887	0.60	1.45	2,14	1,23	1.60	3,00
	7,88	15,23	24,58	10,87	15,71	21,96
1888	0,60	1,51	2,51	1,10	1,55	2,14
1889	0,68	1,56	2,59	1,04	1,54	2,30
1890	0,68	1,49	2,15	0,80	1,62	2,60
1891	0,88	1,49	2,50	1,20	1,54	2,00
1892	0,88	1.51	2,60	1,13	1,58	2,10
1893	0,74	1,52	2,26	1,26	1,51	2,45
1894	0,85	1,60	2,50	1,16	1,55	2,30
1895	0,56	1.53	2,08	1,22	1,58	2,24
1896	0,98	1,56	2,70	1,08	1,56	1,88
1897	0.56	1.47	2,60	1,24	1,59	2.00
	7,41	15,24	24,49	11,23	15,72	22,01
1898	0,94	1,60	2,40	0,88	1,60	2,20
1899	0,70	1,67	2,90	1,20	1,64	2,72
1900	1,00	1,57	3,30	1,28	1,61	2,40
1901	0,70	1,51	2,40	1,06	1,48	2,10
1902	1,00	1,60	2,60	1,18	1,60	1,98
1903	1,00	1,63	3,10	1,18	1,66	2,40
1904	0,84	1,46	2,20	1,24	1,60	2,15
1905	0,86	1,63	3,00	1,18	1,64	2,40
1906	0,90	1,64	2,65	1,12	1,60	2,18
1907	0.78	1,57	2,70	1.34	1.65	2.12
	8,72	15,88	27,25	11,66	16,08	22,65
1908	0,96	1,49	2.80	1,18	1,56	2,18
1909	0,76	1,49	2.26	1,06	1,61	2,20
1910	0,98	1,61	2,56	1,20	1,59	2,40
1911	0,86	1,58	2,42	0,98	1,62	2,30
1912	0,70	1,53	2,24	1,02	1,61	2,16
1913	0,52	1,65	2,22	0,90	1,58	2,08
1914	1,06	1,75	3,30	1,18	1,63	2,70
1915	0,92	1,49	2,20	1,12	1,61	2,26
1916	0,96	1,58	2,38	1,10	1,63	2,28
1917	0.80	1,50	2,32	1,12	1,57	2,10
	8,52	15,67	24,70	10,86	16,01	22,66

Mittel.

der Jahrzehnte	der Winterhalbjahre			der Sommerhalbjahre		
	N.W.	M.W.	H.W.	N.W.	M.W.	H.W.
68—77	8,77	15,08	26,08	11,64	15,72	21,03
78—87	7,88	15,23	24,58	10,87	15,71	21,96
88—97	7,41	15,24	24,49	11,23	15,72	22,01
98—07	8,72	15,88	27,25	11,66	16,08	22,65
08—17	8,52	15,67	24,70	10,86	16,01	22,66
	41,30	77,10	127,10	56,26	79,24	110,31

Hälfte des Jahrhunderts liegen, das höchste mit + 1,036 m für das Jahrzehnt von 1827 bis 1836, das niedrigste mit 0,713 m für das Jahrzehnt von 1857 bis 1866.

Die Niedrigwasser der Sommer- und Winterhalbjahre und deren Mittel in den Jahrzehnten, sowie in 50 Jahren von 1868 bis 1917 sind in der Zusammenstellung IV enthalten.

Die Schwankungen. Die jährlichen Schwankungen, d. h. die Unterschiede zwischen den höchsten und den niedrigsten Jahreswasserständen, sind in den Abb. 1 u. 4 Bl. 25 in Zahlen angegeben und bildlich dargestellt. Die größte Schwankung hatte das Jahr 1874 mit 2,78 m. Die kleinste das Jahr 1837 mit 0,78 m.

Die mittleren Schwankungen der einzelnen Jahrzehnte enthält die Zusammenstellung zu Abb. 1 u. 3 und die Darstellung Abb. 3 Bl. 25. Es zeigt sich hier, daß vom 2. bis 9. Jahrzehnt der Beobachtungszeit ein ununterbrochenes Anwachsen vom kleinsten Mittel mit 1,303 m bis zum größten mit 1,871 m stattgefunden hat. Hier muß allerdings auf den schon oben angegebenen Umstand hingewiesen werden, daß zu Anfang des Jahrhunderts, vor 1842, also in den ersten drei Jahrzehnten keine außergewöhnlichen Wasserstände außerhalb der Mittagszeit in den Listen aufgeführt sind, mithin wahrscheinlich vor 1842 mancher Höchststand nicht beobachtet wurde. Die Mittel aus den beobachteten Hochwassern und die Schwankungen ergeben sich daher für die ersten drei Jahrzehnte wahrscheinlich etwas zu klein. Trotzdem erhält man für die zweite Hälfte der Beobachtungszeit durchschnittlich stärkere Schwankungen als für die erste.

Aus der Darstellung der jährlichen Schwankungen Abb. 4 Bl. 25 ersieht man, daß die Größe der Jahresschwankungen starkem Wechsel unterworfen ist, daß also die aufeinanderfolgenden Jahre sich sehr verschieden verhalten, und in diesem Verhalten keine Stetigkeit zu beobachten ist. Aus den Unterschieden der Jahresschwankungen der aufeinanderfolgenden Jahre sind für die einzelnen Jahrzehnte Mittel gezogen, um einen Maßstab für die Unterschiede in der Schwankung des Wasserspiegels in den einzelnen Jahrzehnten zu erhalten. Diese Mittel sind in Abb. 2 Bl. 25 dargestellt und in den angehörenden Zusammenstellungen angegeben. Sie zeigen, daß die größten Wechsel und das unregelmäßigste Verhalten des Wasserspiegels in das 5., 6. und 7. Jahrzehnt, d. h. in die Zeit von 1857 bis 1887 fallen.

Wie sich die Schwankungen in den einzelnen Monaten verhalten, geht aus den Darstellungen der Monatswasserstände in Abb. 5 Bl. 25 in dem 50jährigen Zeitraum von 1868 bis 1917 hervor. Danach hat der Monat Februar mit 3,21 m die größten, und der Monat Mai mit 0,94 m die kleinsten Schwankungen. Dem Februar stehen die Monate Januar und Dezember mit starken, dem Mai die Monate Juni, Juli, August mit schwachen Schwankungen nahe. Die erstgenannten drei Wintermonate haben zusammen eine mittlere Schwankung von

$$\frac{3,08 + 2,78 + 3,21}{3} = 3,023 \text{ m},$$

die genannten vier Sommermonate eine solche von

$$\frac{0,94 + 1,15 + 1,14 + 1,20}{4} = 1,108 \text{ m},$$

Zusammenstellung VI der Häufigkeit der Wasserstände für die 50 Abflußjahre 1868 bis 1917.

Wasserstände von m	bis m	1917	1916	1915	1914	1913	1912	1911	1910	1909	1908	1907	1906	1905	1904	1903	1902	1901	1900	1899	1898	1897	1896	1895	1894	1893
3,79	3,70	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
3,69	3,60	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
3,59	3,50	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
3,49	3,40	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
3,39	3,30	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.
3,29	3,20	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
3,19	3,10	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
3,09	3,00	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
2,99	2,90	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.
2,89	2,80	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
2,79	2,70	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	1	.	.	1	.	.	.
2,69	2,60	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	.	.	1	1	.	2	1	.	1	.	.	.	.
2,59	2,50	.	.	.	1	.	.	.	1	.	.	.	1	.	.	.	1	.	1	.	.	.	.	.	1	.
2,49	2,40	.	.	.	3	.	.	2	1	.	.	.	.	1	.	1	1	1	2	.	1	.	.	.	1	1
2,39	2,30	2	2	.	3	.	.	2	1	.	2	1	.	3	.	1	.	1	2	2	2	.	.	.	3	.
2,29	2,20	.	3	2	8	2	1	2	.	2	2	1	2	2	1	2	.	.	2	5	2	.	1	1	5	2
2,19	2,10	1	4	3	11	2	4	1	4	.	1	3	2	5	1	3	6	2	8	4	5	1	2	1	6	2
2,09	2,00	1	5	4	12	4	3	7	8	2	.	10	13	10	6	7	11	1	6	7	4	2	2	1	4	7
1,99	1,90	5	15	5	14	19	12	15	12	10	6	17	11	18	6	24	14	6	15	25	13	3	5	10	11	10
1,89	1,80	16	33	18	30	39	21	29	22	27	23	31	32	39	23	45	24	9	19	26	30	11	17	17	19	19
1,79	1,70	38	54	40	53	63	53	49	43	33	31	66	51	63	44	54	59	26	37	58	59	37	47	40	44	45
1,69	1,60	58	79	83	85	81	82	81	88	68	50	70	90	62	53	70	68	37	52	96	69	68	76	79	58	61
1,59	1,50	92	65	72	84	67	70	72	81	90	84	57	70	50	68	67	67	91	101	83	64	98	102	88	71	104
1,49	1,40	86	56	72	44	41	59	57	72	65	73	55	61	68	81	53	66	90	52	34	70	85	68	80	61	56
1,39	1,30	36	28	35	10	35	40	25	16	43	55	30	19	25	40	20	17	74	37	15	26	36	31	27	57	38
1,29	1,20	19	17	16	2	6	17	16	8	16	24	12	8	12	27	11	25	17	19	3	11	15	11	14	17	10
1,19	1,10	7	5	9	1	3	1	2	4	4	10	8	2	3	10	3	3	5	6	2	6	3	1	2	4	5
1,09	1,00	2	.	3	1	1	2	2	2	3	2	2	.	1	5	2	2	2	3	.	1	2	1	1	.	3
0,99	0,90	1	.	3	.	1	.	2	2	.	2	.	2	.	1	.	.	2	.	.	1	1	1	1	2	.
0,89	0,80	1	.	.	.	.	.	1	.	1	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	1	.	.	1	1	1
0,79	0,70	.	.	.	.	.	1	.	.	1	.	1	.	.	.	.	.	1	.	2	.	1	.	1	.	1
0,69	0,60	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
0,59	0,50	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	.	1	.	.
0,49	0,40	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
0,39	0,30	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Summe		365	366	365	365	365	366	365	365	365	366	365	365	365	366	365	365	365	365	365	365	365	366	365	365	365

Wasserstände von m	bis m	1892	1891	1890	1889	1888	1887	1886	1885	1884	1883	1882	1881	1880	1879	1878	1877	1876	1875	1874	1873	1872	1871	1870	1869	1868		Summe von 50 Jahren 1917 bis 1868
3,79	3,70	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	51	1
3,69	3,60	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.		.
3,59	3,50	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.		.
3,49	3,40	.	.	.	.	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.		1
3,39	3,30	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.		2
3,29	3,20	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	1		3
3,19	3,10	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.		2
3,09	3,00	.	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.		2
2,99	2,90	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.		3
2,89	2,80	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.		1
2,79	2,70	.	.	.	.	.	1	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	36	7
2,69	2,60	1	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	2		12
2,59	2,50	.	1	.	1	1	.	.	.	1	.	.	1	1	.	.	.	.	.	3	.	.	.	.	.	2		17
2,49	2,40	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	1	.	2	.	1	.	.	.	2	.	.	.	1	1	1		25
2,39	2,30	1	1	.	1	1	.	2	.	1	.	1	1	1	.	.	1	.	.	1	2	.	.	.	1	1		44
2,29	2,20	1	1	1	2	1	.	.	.	1	1	.	3	.	.	4	.	1	1	2	3	1	1	1	.	6		79
2,19	2,10	3	2	2	1	3	1	.	.	2	.	2	2	5	.	4	.	.	3	4	.	.	.	2	4	4		126
2,09	2,00	4	2	3	2	3	1	2	1	9	3	4	4	8	6	5	.	3	2	7	1	1	3	4	5	7		222
1,99	1,90	4	5	10	12	7	8	2	4	6	2	9	14	7	8	15	6	4	15	15	4	5	5	10	9	20		507
1,89	1,80	10	13	22	23	17	21	20	21	28	5	26	43	17	18	31	28	13	18	31	16	8	9	17	23	50		1127
1,79	1,70	43	33	34	54	38	39	36	35	40	35	41	50	39	53	77	42	43	21	63	39	21	26	36	41	31		2197
1,69	1,60	68	55	86	58	63	62	55	96	63	61	82	69	68	81	91	78	67	50	92	83	54	61	63	61	75		3506
1,59	1,50	94	90	74	58	79	81	55	64	57	60	44	45	58	74	52	49	67	78	66	76	58	46	55	64	66		3568
1,49	1,40	73	81	61	73	68	65	73	69	75	63	61	65	101	69	39	71	92	84	40	58	112	116	79	84	71		3448
1,39	1,30	37	48	51	43	45	42	49	39	41	66	51	39	45	36	32	47	44	38	24	40	50	49	52	30	35		1888
1,29	1,20	17	25	12	25	20	26	33	29	28	38	19	21	12	14	7	28	17	19	9	31	20	20	21	19	5		868
1,19	1,10	7	3	2	3	14	11	20	4	9	16	7	4	3	6	5	10	9	28	2	9	25	13	13	14	6	606; 486	352
1,09	1,00	2	1	1	4	2	4	10	2	2	10	6	1	2	.	.	3	2	5	.	1	11	8	7	6	1		134
0,99	0,90	.	3	2	.	1	1	4	.	.	3	4	1	.	.	1	.	2	2	1	2	.	2	4	.	.	120	55
0,89	0,80	1	1	1	3	1	.	4	1	2	1	4	1	1	.	.	1	1	1	.	.	.	6	.	1	.		39
0,79	0,70	.	.	1	1	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	1	.		14
0,69	0,60	.	.	1	1	.	1	.	.	.	1	1	.	.	.	1	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.		7
0,59	0,50	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.		3
0,49	0,40	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.		1
0,39	0,30	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	.		1
Summe		366	365	365	365	366	365	365	365	366	365	365	365	366	365	365	365	366	365	365	365	366	365	365	365	366		18262

d. h. in den genannten drei Wintermonaten ist die Schwankung des Wasserspiegels durchschnittlich etwa dreimal stärker als in den vier Sommermonaten.

Häufigkeit des Eintritts der Wasserstände. Da für den praktischen Baubetrieb die Kenntnis der Häufigkeit des Eintritts der Wasserstände von großem Wert ist, sind die Zusammenstellungen V und VI hierüber für die letzten 50 Jahre von 1868 bis 1917 angefertigt worden. Da in den Beobachtungslisten der weiter zurückliegenden Jahre außergewöhnliche Wasserstände, soweit sie außerhalb der Beobachtungszeit liegen, nicht durchweg enthalten, und daher diese Listen mit den späteren nicht gleichwertig sind, ist davon Abstand genommen, die Ermittlung der Häufigkeit des Eintritts der Wasserstände über 50 Jahre hinaus auszudehnen.

Für den Dünenbau ist die Häufigkeit der Hochwasser, für die Bautätigkeit aber auch die Häufigkeit der Niedrigwasser von Bedeutung.

Häufigkeit der Hochwasser. An den Vordünen pflegen Beschädigungen zu entstehen, wenn das Wasser + 2,50 m, d. h. 0,96 m über Mittelwasser am Pegel überschreitet. Dieses Ereignis ist nach Zusammenstellung VI in den letzten 50 Jahren an 51 Tagen vorgekommen, aber nicht in jedem Jahre. Im Jahre 1868 und 1874 ist es je sechsmal, im Jahre 1914 viermal, dagegen in 24 anderen Jahren, darunter in fünf aufeinanderfolgenden Jahren (und zwar 1869, 70, 71, 72, 73 und 75, 76, 77, 78, 79) überhaupt nicht, oder in 11 Jahren nur einmal eingetreten.

In den Winter fielen nach Zusammenstellung V von den 51 schädlichen Wasserständen 45, in den Sommer, und zwar ausschließlich in die Monate September und Oktober, 6. In den Monaten Mai, Juni, Juli, August kam also eine Beschädigung der Vordünen in 50 Jahren nicht vor, im April in der ganzen Beobachtungszeit nur einmal, im September zweimal, im Oktober viermal. Die meisten dieser schädlichen Hochwasser, nämlich 15 (in 50 Jahren), hatte der Monat Dezember. Das höchste Hochwasser fiel aber in den Monat Februar 1874, und war mit + 3,77 m zugleich das höchste Hochwasser in der Zeit von 1816 bis 1917, also in 102 Jahren.

Größere Beschädigungen, deren Beseitigungen die gewöhnlichen Unterhaltungsmittel überschreitende Aufwendungen erforderlich machen, treten erst ein, wenn das Wasser 2,8 m, d. h. 1,26 m über Mittelwasser am Pegel überschreitet. Dies geschah in 50 Jahren an 15 Tagen, und zwar im Jahre 1874 dreimal, in den Jahren 1905 und 1914 zweimal, und von 1888 bis 1898, also in 11 Jahren, überhaupt nicht. Von den 15 Fällen fielen zwei in den Oktober, also noch in den Sommer, 13 in den Winter, davon sechs in den Dezember.

Außergewöhnlich große Beschädigungen, gänzliche Abbrüche und Durchbrüche usw. entstehen, wenn bei starken Stürmen Wasserstände von + 3 m, d. h. 1,46 m über Mittelwasser am Pegel und darüber entstehen. Dies ist in dem Beobachtungszeitraum von 50 Jahren elfmal eingetreten, einmal im Sommer (d. h. im Oktober 1887) und zehnmal im Winter, davon fünfmal im Dezember. Im Jahre 1874 fand dies dreimal, im Jahre 1914 zweimal, aber auch zwölf Jahre lang (von 1888 bis 1900) überhaupt nicht statt.

Auf einzelne Jahrzehnte verteilt, ergeben sich für die 51 schädlichen Hochwasser über + 2,50 m folgende Zahlen:

	68—77	78—87	88—97	98—08	08—17	zusammen
2,5 und mehr	12	9	8	16	6	51
3,0 und mehr	4	2	0	3	2	11

Häufigkeit der Niedrigwasser. Wasserstände unter 1 m a. P. (d. h. 0,54 m unter Mittelwasser) traten in 50 Jahren 120 mal ein; zwölfmal im Sommer, aber nur im Oktober, und 108 mal im Winter (Zusammenstellungen V u. VI). Die Sommermonate Mai, Juni, Juli, August und September hatten keinen Wasserstand unter 1,20 m a. P. (d. h. 0,34 m unter M.W.). Wasserstände unter 0,8 m a. P. (d. h. 0,74 m unter M.W.) wurden in 50 Jahren 26 mal, aber nur in den Wintermonaten November bis März beobachtet. Der niedrigste Wasserstand des Jahrhunderts mit 0,37 m a. P. (also 1,17 m unter M.W.) fiel in den Monat Dezember 1869. Ebenso wie die außergewöhnlichen Hochwasser fallen also auch die außergewöhnlichen Niedrigwasser in die Wintermonate.

Es ist also der Winter die Zeit der höchsten und niedrigsten Wasserstände und der stärksten Schwankungen.

Der Sommer ist die Zeit geringer Schwankungen, aber höherer Mittelwasser, also gleichbleibender Wasserstände.

Zusammenfassung und Vergleich mit den Nachbarpegeln. Aus den in Abb. 3 Bl. 25 zeichnerisch und in einer Zusammenstellung dargestellten Mittelwerten: a) der Jahreshochwasser, b) der Mittelwasser, c) der Jahresniedrigwasser, d) der Jahresschwankungen, e) des jährlichen Unterschiedes dieser Schwankungen für die einzelnen Jahrzehnte, sowie für die ersten und letzten 50 Jahre und für den ganzen Beobachtungszeitraum von 100 Jahren ergibt sich, daß ein bemerkenswerter Unterschied im Verhalten des Wasserspiegels zwischen den ersten und den letzten 50 Jahren des 100jährigen Beob-

Zusammenstellung VII der Jahrzehnten-Mittel am Pegel von Swinemünde, Kolberg, Rügenwaldermünde, Stolpmünde.

	Pegel von Swinemünde			Pegel von Kolberg			Pegel von Rügenwaldermünde			Pegel von Stolpmünde			Bemerkungen
	Jahrzehnt	Jahrzehnte-Mittel	Unterschied der Jahrzehnte-Mittel	Jahrzehnt	Jahrzehnte-Mittel	Unterschied der Jahrzehnte-Mittel	Jahrzehnt	Jahrzehnte-Mittel	Unterschied der Jahrzehnte-Mittel	Jahrzehnt	Jahrzehnte-Mittel	Unterschied der Jahrzehnte-Mittel	
1.	1817—1826	1,033	52	1817—1826	1,527	33	1820—1826	1,101[1])	26	1817—1826	(1,143)[2])	(448)	1) Mittel aus 7 Jahren 2) u. 3) Wegen Unsicherheit der Höhenlage des Pegelnullpunktes sind diese Beobachtungen außer acht gelassen.
2.	1827—1836	1,009	28	1827—1836	1,529	35	1827—1836	1,108	33	1827—1836	(0,862)[3])	(167)	
3.	1837—1846	0,997	16	1837—1846	1,526	32	1837—1846	1,075	0	1837—1846	0,766	71	
4.	1847—1856	1,001	20	1847—1856	1,530	36	1847—1856	1,095	20	1847—1856	0,729	34	
5.	1857—1866	0,981	0	1857—1866	1,494	0	1857—1866	1,078	3	1857—1866	0,695	0	
6.	1867—1876	1,011	30	1867—1876	1,542	48	1867—1876	1,108	33	1867—1876	0,717	22	
7.	1877—1886	1,022	41	1877—1886	1,546	52	1877—1886	1,137	62	1877—1886	0,721	26	
8.	1887—1896	1,026	45	1887—1896	1,547	53	1887—1896	1,155	80	1887—1896	0,761	66	
9.	1897—1906	1,055	74	1897—1906	1,589	95	1897—1906	1,199	124	1897—1906	0,799	104	
10.	1907—1916	1,050	69	1907—1916	1,592	98	1907—1916	1,200	125	1907—1916	0,795	100	
	Summe 1817—1916	10,185	375	Summe 1817—1916	15,422	482	Summe 1820—1916	11,256	506	Summe 1837—1916	5,983	423	
	Mittel 1817—1916	1.018	37	Mittel 1817—1916	1,542	48	Mittel 1820—1916	1,126	51	Mittel 1837—1916	0,747	53	

Zusammenstellung des Unterschiede der Jahrzehnten-Mittel

	Jahrzehnt	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.
Pegel von:	Swinemünde	52	28	16	20	0	30	41	45	73	69
	Kolberg	33	35	32	36	0	48	52	53	95	93
	Rügenwaldermünde	26	33	0	20	3	33	62	80	124	125
	Stolpmünde	—	—	71	34	0	22	26	66	104	100
	Summe:	111	96	119	110	3	133	181	244	396	392
	Mittel:	37	35	30	28	1	33	45	61	99	98

achtungszeitraumes besteht. In der letzten Hälfte des Jahrhunderts sind die Mittelwasser, die Mittel der Hochwasser und die Mittel der Schwankungen größer als in der ersten.

Bei der Bedeutung, die dem Verhalten des Mittelwassers der Ostsee während längerer Zeiträume in früheren Veröffentlichungen*) beigemessen wurde, empfiehlt es sich zu untersuchen, ob auch an den Nachbarpegeln ein, dem in Kolberg festgestellten, ähnliches Verhalten des Mittelwassers zu beobachten ist, zumal eine derartige Untersuchung zugleich auch eine Prüfung hinsichtlich der Unveränderlichkeit der Pegelnullpunkte ergibt. Daher wurden aus den Pegelbeobachtungen von Swinemünde, Rügenwaldermünde und Stolpmünde für den Zeitraum von 1817 bis 1916 Jahrzehntemittel in derselben Weise wie aus den Pegelbeobachtungen von Kolberg gebildet und dann die Schwankungen dieser Jahrzehntemittel für jeden Pegel in Millimetern festgestellt. Die Ergebnisse sind in der Zusammenstellung VII enthalten und in Abb. 2 Bl. 25 dargestellt.

*) a) Das Mittelwasser der Ostsee bei Swinemünde von Wilhelm Seibt. Publikation des Königlich Preußischen geodätischen Instituts. Berlin 1881 und 1890 bei P. Stankiewicz. — b) Das Mittelwasser der Ostsee bei Travemünde von Prof. Wilhelm Seibt. Publikation des Königl. Preuß. geodätischen Instituts. Berlin 1885 bei P. Stankiewicz. — c) Das Mittelwasser der Ostsee usw. von Prof. Dr. Kuhner. Veröffentlichung des Königlich Preußischen geodätischen Instituts. Neue Folge Nr. 70. Berlin 1916 bei P. Stankiewicz.

Es zeigt sich hier eine auffallende Übereinstimmung im Verhalten der Jahrzehntemittel der vier verglichenen Pegel. Nur am Pegel von Stolpmünde fallen die Mittel der beiden ersten Jahrzehnte so sehr aus dem Rahmen der andern heraus, daß diese Beobachtungen mit Rücksicht auf die ohnehin schon festgestellte Unsicherheit in der Höhenlage der älteren Stolpmünder Pegellatten aus den weiteren Betrachtungen ganz ausgeschieden worden sind. Im übrigen zeigt der gleichmäßige Verlauf der Linien, daß die festgestellten Schwankungen der Mittel nicht auf Veränderungen der Höhenlage der Pegellatten in einzelnen Stationen beruhen kann.

Bildet man aus den an den einzelnen Pegeln festgestellten Schwankungen wiederum Mittelwerte, so veranschaulicht die aus diesen Werten gebildete Linie die Schwankungen der Jahrzehntemittel der Ostsee an der hinterpommerschen Küste im Jahrhundert von 1817 bis 1916.

Der Verlauf dieser Linie und namentlich ihr Verhalten in den drei letzten Jahrzehnten bestätigt nicht die den Veröffentlichungen des Königlich Preußischen geodätischen Instituts „das Mittelwasser der Ostsee bei Swinemünde“ I. und II. Mitteilung, Berlin 1881 und 1890, von W. Seibt zugrunde liegende Annahme (1. Mitteilung Seite 35): „Daß

gerade die Ostsee, wie schwerlich in höherem Grade ein zweites mit dem Weltmeer in Kommunikation stehendes Gewässer, infolge der ganz geringfügigen Fluktuation, welche Sonne und Mond in derselben hervorzurufen vermögen, geeignet ist, in verhältnismäßig kurzer Zeit und in einfachster Weise dasjenige Niveau zu fixieren, welches der Ostsee beim Beobachtungspunkt als mittlere Meereshöhe eigentümlich ist."

Die Linie zeigt vielmehr, daß noch sehr lange Beobachtungszeiträume verstreichen müssen, ehe aus den Pegelbeobachtungen allein so weitgehende Schlüsse über das Verhalten des Mittelwassers und der Küste hinsichtlich ihrer Höhenlage zueinander gezogen werden können, wie es in den angegebenen Mitteilungen geschehen ist, zumal es noch gar nicht feststeht, ob es sich um weiterwachsende, bleibende, regelmäßig oder unregelmäßig schwankende Änderungen handelt, deren Ursache in geodätischen, meteorologischen oder anderen Verhältnissen liegen können.

Beim Vergleich der Beobachtungen an den verschiedenen Pegeln sind noch die Verschiedenartigkeit der Verhältnisse an den einzelnen Pegeln zu beachten. Der Pegel in Swinemünde liegt nicht unmittelbar an der See, sondern an der Swine, etwa 5 km binnenseitig der Molenköpfe, also an einem Flußlauf mit unregelmäßig wechselndem Ein- und Ausstrom, also unregelmäßig wechselndem Gefälle nach See und umgekehrt. Infolgedessen erleiden die Schwankungen der See auf dem Wege bis zum Pegel eine Dämpfung. Da die Wasserspiegelgefälle bei Sturmfluten und Hochwasser der See und dem dann herrschenden starken Einstrom größer sind als bei ruhiger See, mittleren und kleinen Wasserständen und Ausstrom, erfahren die Seeschwankungen bei Sturmfluten und Hochwasser eine stärkere Dämpfung als bei mittleren und kleinen Wasserständen. Infolgedessen werden im allgemeinen die Mittel, die aus den Schwankungen am Pegel ermittelt werden, kleiner sein, als die aus den tatsächlichen Schwankungen der Ostsee sich ergebenden. In Kolberg, Rügenwaldermünde und Stolpmünde liegen die Pegel nur einige hundert Meter von den Molenköpfen entfernt. Einströmungen kommen sehr selten vor. Die an diesen Pegeln gemachten Beobachtungen geben daher ein, den tatsächlichen Bewegungen des Ostseewasserspiegels ähnlicheres Bild, als die Beobachtungen in Swinemünde.

Es darf auch der Einfluß der baulichen Änderungen in den Häfen und an den Mündungen auf die Wasserstände nicht außer acht gelassen werden. Durch Molenbauten wird die Hafenmündung weiter vom Pegel ab in See gerückt und gegen den ursprünglichen Zustand stark eingeengt. Das Hochwasser kann also nach Ausführung von Molen weit weniger heftig wie vorher in die damals trichterförmig nach See hin offenen Hafenmündungen eindringen und wird daher nach Ausführung von Molen am Pegel weit weniger hoch auflaufen als vorher. Die Vertiefungen des Fahrwassers, Erweiterungen der Profile, Verkürzung der Verbindung zwischen Haff und See müssen in Swinemünde Senkungen der Binnenwasserstände herbeigeführt haben. In Kolberg, Rügenwaldermünde und Stolpmünde sind derartige Einflüsse verschwindend klein. Es erklärt sich hieraus, warum die Schwankungen der Mittel in Swinemünde kleiner geblieben sind als in den Nachbarhäfen.

Kolberg, im April 1918. Musset, Baurat.

Die Berechnung von Bohlwänden nach der Elastizitätslehre.

Von Dr.-Ing. A. Freund, Regierungsbaumeister, Essen.

(Mit Abbildungen auf Blatt 26 im Atlas.)

§ 1. Einleitung.

Mit der Einführung von Rammbohlen aus Profileisen und aus Eisenbeton, Hand in Hand mit der Verbesserung der Rammverfahren hat die Verwendung von Spund- oder Bohlwänden im Wasserbau einen immer wachsenden Umfang angenommen. Insbesondere der eisernen Spundwand darf man eine große Zukunft voraussagen. Sie wird schon heute in vielen Fällen verwendet, wo man früher Ufereinfassungen aus Mauerwerk auf Pfahlrost für angebracht gehalten hat. Sie hat nicht allein den Vorteil, in kurzer Zeit und mit mäßigen Kosten herstellbar, sondern auch leicht zu beseitigen zu sein, wo es gilt, den wachsenden Anforderungen des Verkehrs durch Vergrößerung der Hafenbecken zu folgen.

Bedeutet schon die Wahl der Bohlwand an sich in vielen Fällen eine Verbilligung der Bauweise, so wird man bei großen Bauvorhaben weiterhin bestrebt sein, auch an der Bohlwand, insbesondere was die Rammtiefe anbelangt, jede Verschwendung zu vermeiden. In dieser Hinsicht zu sparen gelingt jedoch nur, wenn man die Wahl der Abmessungen auf eine zuverlässige statische Untersuchung stützen kann. Leider besitzen wir bis heute noch kein einwandfreies Verfahren zur statischen Berechnung von Bohlwänden. Es mag das damit zusammenhängen, daß bisher auch das Bedürfnis, Bohlwände statisch zu untersuchen, trotz der umfangreichen Ausführungen von Bohlwänden verhältnismäßig wenig brennend gewesen ist. In den meisten Fällen sind die Abmessungen der Spundbohlen durch die Anforderungen des Rammens und die Art des Baugrundes ohne weiteres gegeben. Doch mehren sich heute, zumal wenn es sich um lange Bohlen handelt, die unter Anwendung leichter Rammschläge mit gleichzeitigem Spülen oder nur durch Spülen heruntergebracht werden, die Fälle, wo auch die Nachprüfung der Standsicherheit und inneren Beanspruchung ohne Rücksicht auf das Rammen notwendig wird.

Die vorliegende Abhandlung geht davon aus, daß ein brauchbares Berechnungsverfahren auf den physikalischen Eigenschaften der Bohlen und des Baugrundes aufgebaut sein muß. Da insbesondere die Eigenschaften des Baugrundes noch zu wenig erforscht sind, muß die Theorie ferner die nötige Dehnbarkeit und Bewegungsfreiheit besitzen, um sich den noch unbekannten Versuchsergebnissen anpassen zu können.

Zur Klärung der statischen Verhältnisse einer Bohlwand sei folgendes ausgeführt.

Im Gegensatz zu dem starren Block einer massiven Ufermauer ist die Rammbohle ein elastischer, je nach seiner Stärke mehr oder weniger biegsamer Stab. Unter der Einwirkung der äußeren Kräfte (Seitendruck der Hinterfüllung, Wasserdruck) erleidet die Bohle Formänderungen. Diese muß man kennen, um auftretende statisch unbestimmte Größen (Zugkraft des Ankers) ermitteln zu können. Im weiteren Sinne des Begriffs ist jedoch eine Bohlwand auch dann statisch unbestimmt, wenn sie nicht im oberen Teile verankert ist, denn die Art und Weise, wie die Bohle mit dem Baugrund in Verbindung steht, muß als statisch unbestimmt bezeichnet werden. Zunächst weiß man nur, daß die Bohle im Erdreich eingespannt ist. Über die Einspannung selbst läßt sich vorerst weiter nichts angeben, als daß sie nicht vollkommen starr sein kann, weil das den physikalischen Eigenschaften des Erdbodens widersprechen würde. Die Einspannung der Bohle kann man eine elastische Einspannung nennen, wenn man unter Elastizität eines Baustoffs im weiteren Sinne seine Eigenschaft versteht, unter dem Einfluß von Kräften seine Form zu verändern, gleichviel, ob diese Formänderung nach dem Verschwinden der Kraft noch teilweise bestehen bleibt oder nicht; im letzteren Falle, wenn also die Formänderung nach dem Aufhören der Kraftwirkung verschwindet, hat man es mit der Elastizität im engeren Sinne zu tun. Zwischen den beiden Arten der Elastizität sind in der Natur keine Grenzen gezogen. Auch der Erdboden, der aus Einzelbestandteilen mit elastischen Eigenschaften zusammengesetzt ist, ist ein elastischer Stoff im weiteren wie im engeren Sinne, je nach der Größe der Kraftwirkung. Ist die Elastizität des Erdbodens auch eine unumstößliche, auf physikalischem Naturgesetz beruhende Tatsache, so macht es doch erfahrungsgemäß Schwierigkeiten, sich die Wirkungen der Elastizität des Erdbodens auf das statische Verhalten eines Körpers vorzustellen, weil die auf die Flächeneinheit des Erdbodens wirkenden Kräfte in der Regel klein und die Formänderungen infolgedessen so winzig sind, daß sie mit unseren Meßwerkzeugen kaum nachgewiesen, geschweige denn mit bloßem Auge wahrgenommen werden können. Es kommt hinzu, daß der im Boden steckende Teil der Bohlwand der Sicht entzogen ist; hierauf beruhen auch die Schwierigkeiten der Erforschung der Aufgabe durch Versuche.

Die elastische Einspannung ist an sich keine statisch unbestimmte Aufgabe, da sie sich unter gewissen Voraussetzungen auf die statisch bestimmte Aufgabe der gleichmäßig elastisch gestützten Körper zurückführen läßt. Diese Voraussetzungen lauten:

1. Proportionalität zwischen Spannung und Formänderung,
2. Unveränderlichkeit der Elastizität des Erdbodens mit der Tiefe.

Über das Zutreffen dieser beiden Voraussetzungen zu streiten, hat so lange keinen Zweck, als die elastischen Eigenschaften der verschiedenen Bodenarten noch nicht genau bekannt sind. Innerhalb gewisser Grenzen werden die Voraussetzungen mit einer bestimmten Annäherung zulässig sein. Man betrachte die Annahme der „Gleichmäßigkeit" der elastischen Lagerung daher vorerst als eine Vereinfachung, die es ermöglichen soll, ein Bild der wirklich auftretenden statischen Verhältnisse in ungefähren Umrissen zu zeichnen. Das Weitere muß sich nach den Ergebnissen von Versuchen über den vorliegenden Gegenstand finden; durch die geeignete Wahl der Sicherheitsziffer muß man sich über diese Schwierigkeit zunächst forthelfen.

Ist demnach die elastische Einspannung statisch klar, so weiß man bei der Bohlwand jedoch noch nicht, von welcher Tiefe ab man die Bohlen als elastisch eingespannt betrachten darf. Daher ist auch die freistehende Bohlwand stets einfach statisch unbestimmt.

Zusammenfassend kann man das statische Verhalten der Bohlwand folgendermaßen beschreiben:

Die Bohlwand ist ein elastisch biegsamer Stab, der von einer gewissen, statisch unbestimmten Tiefe an im Erdboden elastisch gelagert ist.

I. Abriß der Theorie der elastischen Einspannung.

§ 2. Allgemeines.

Die Lehre von der elastischen Einspannung knüpft an an die Theorie der gleichmäßig elastisch gestützten Körper, die vom Verfasser eingehend behandelt und in der Zeitschrift „Beton und Eisen", Jahrgang 1919, S. 105 u. f. veröffentlicht ist. Während es sich dort im allgemeinen um Stäbe handelt, die nur auf ihrer Unterseite elastisch gelagert sind, so daß mit einem Abheben des Stabes von der Unterlage gerechnet werden kann, wenn die Verbindung zwischen Stab und Unterlage nicht zugfest ist, ist der elastisch eingespannte Stab auf beiden Seiten elastisch gelagert, so daß einem Abheben von der Unterlage durch einen Druck von oben entgegengewirkt wird. Zur einfacheren Darstellung möge der elastisch eingespannte Stab AB (Text-Abb. 1) als ein über die Strecke BC nur auf der Unterseite gestützter, aber mit seiner Unterlage zugfest verbundener Stab betrachtet werden.

Wirkt auf den freien Teil AC eine beliebige, aus Einzellasten und verteilter Last zusammengesetzte Belastung (Text-Abb. 1a), so kann man sich diese bezüglich ihrer Wirkung auf den elastisch gelagerten Teil BC stets ersetzt denken durch eine im Punkte C angreifende Scherkraft P' und das Biegungsmoment $\mathfrak{M}'$ im Punkte C (Text-Abb. 1b). Um die Formänderung des Teiles BC zu berechnen, braucht man nun nur die Biegelinie des elastisch gelagerten Stabes BC infolge P' und $\mathfrak{M}'$ zu berechnen (Text-Abb. 1c u. d), diese zusammenzusetzen (Text-Abb. 1e) und das nach bekanntem Verfahren ermittelte Stück der Formänderung des freien Teils daranzusetzen (Text-Abb. 1f). Die Aufgabe ist also ganz unabhängig von der Art der Belastung des freien Teiles AC immer zurückführbar auf einen elastisch gelagerten Stab BC, der im Endpunkt C durch eine Einzellast und durch ein Biegungsmoment beansprucht wird.

a b c d e f

Abb. 1.

Es kann auch der Fall eintreten, daß auf der Strecke BC eine Last zur Geltung kommt. Die Möglichkeit, daß hier eine Einzellast angreift, ist zu unwahrscheinlich, um im Rahmen dieses Aufsatzes behandelt zu werden. Dagegen ist es wohl möglich, daß eine gleichmäßig verteilte oder geradlinig anwachsende Belastung auftritt (Text-Abb. 2a, b u. c). In sämtlichen Fällen ist der Bodendruck gleich der Belastung, die Biegelinie also eine Gerade, d. h. es finden keine inneren Formänderungen statt, das Moment und die Scherkraft haben an jeder Stelle den Wert Null. In den folgenden Beispielen wird nur die gleichmäßig verteilte Belastung (Text-Abb. 2a) berücksichtigt werden.

Bisher ist stillschweigend angenommen worden, daß das untere Ende der Bohlwand bei B frei drehbar und verschieblich ist. Dieser Fall liegt aber manchmal nicht vor, nämlich wenn die Wand (Text-Abb. 3) mit ihrer Spitze in eine

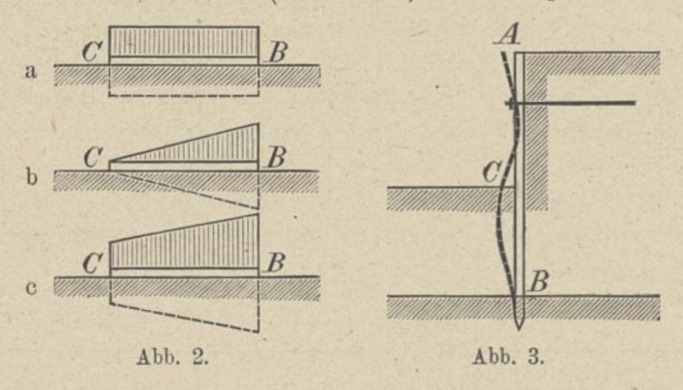


Abb. 2. Abb. 3.

Schicht von sehr hoher Festigkeit hineingetrieben ist (Sandstein, sehr harter Mergel oder dgl.). Dann kann man meist mit genügender Genauigkeit das untere Ende als starr eingespannt, d. h. als unverschieblich und unverdrehbar ansehen. Das ist der Grund, weshalb in den folgenden Ausführungen auch der elastisch gelagerte Stab mit einseitiger Einspannung behandelt werden soll.

§ 3. Der elastisch gelagerte Stab mit freien Enden.

1. Belastungsfall: Einzellast P am linken Ende.

Die Stablänge BC sei in Übereinstimmung mit den a. a. O. angewendeten Bezeichnungen mit $2\,l$ bezeichnet, der Abstand des untersuchten Stabquerschnittes vom linken Stabende C mit x (Text-Abb. 4). Versteht man ferner unter dem Ausdruck

$$m = \sqrt[4]{\frac{E_0 b}{4\,EJ}},^{1)}$$

worin E_0 die Elastizitätszahl der Unterlage in kg/cm³,
b die Stabbreite in cm,
E die Elastizitätszahl des Stabstoffes in kg/cm²,
und J das Trägheitsmoment des Stabquerschnitts in cm⁴

bedeutet, und der die Dimension cm^{-1}, also den reziproken

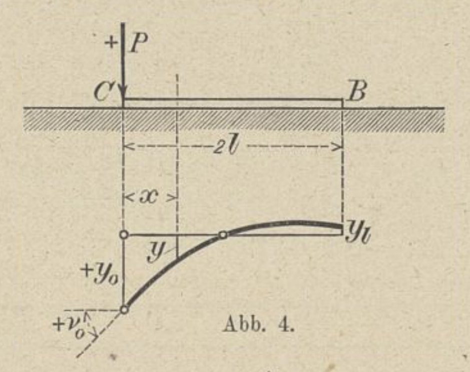


Abb. 4.

Wert einer Länge, besitzt, das Biegsamkeitsmaß des Stabes, so sollen die Produkte von Längenmaßen mit dem Wert m mit griechischen Buchstaben benannt werden. Es ist also $\alpha = a \cdot m$, $\lambda = l \cdot m$, $\varphi = x \cdot m$ usw., wobei α, λ, φ usw. reine Zahlen sind. Die einem bestimmten Querschnitt $x\,(\varphi)$ zugeordneten Größen y (Senkung), $p = \frac{y}{E_0}$ (Bodendruck), $\operatorname{tg} \nu = -\frac{dy}{dx}$ (Neigungswinkel der verbogenen Stabachse gegen die ursprüngliche Stabachse), $M = -EJ \cdot \frac{d^2y}{dx^2}$ (Biegungsmoment) und $T = -EJ \cdot \frac{d^3y}{dx^3}$ (Scherkraft) seien zusammenfassend als die fünf Grundwerte bezeichnet und stets in einer Gruppe vereinigt.

Um die Grundwerte in knapper übersichtlicher Form darstellen zu können, hat Verfasser die $\mathfrak{C}$-Funktion mit ihren Differentialquotienten $\mathfrak{C}'$, $\mathfrak{C}''$ und $\mathfrak{C}'''$ eingeführt. Die $\mathfrak{C}$-Funktion hat die Eigenschaft, daß ihr vierter Differontialquotient $\mathfrak{C}'''' = -4\,\mathfrak{C}$ ist. Im einzelnen bedeutet

---

1) Für diejenigen Leser, die mit den Grundlagen der Theorie der gleichmäßig elastisch gestützten Körper nicht vertraut sind, sei folgende Erläuterung über die Entstehung des Wertes $m = \sqrt[4]{\frac{E_0 b}{4EJ}}$ und der Gleichung der Senkungskurven usw. gegeben:

Die Differentialgleichung der elastischen Linie des gleichmäßig elastisch gestützten Trägers, der nur durch Einzellasten beansprucht ist, lautet für die Strecke zwischen benachbarten Einzellasten:

$$\frac{EJ}{E_0 b} \cdot \frac{d^4y}{dx^4} + y = 0$$

(vgl. Zimmermann, Berechnung des Eisenbahnoberbaues, Seite 10ff.).

Um diese Differentialgleichung zu lösen, setzt man $y = e^{\mu x}$ (e = Basis der natürlichen Logarithmen) und erhält zur Bestimmung von μ die charakteristische Gleichung 4. Grades $\frac{EJ}{E_0 b} \cdot \mu^4 + 1 = 0$, die vier Lösungen besitzt; diese sind

$$\mu_1 = +(1+i)\sqrt[4]{\frac{E_0 b}{4EJ}},\quad \mu_2 = -(1+i)\sqrt[4]{\frac{E_0 b}{4EJ}},$$
$$\mu_3 = +(1-i)\sqrt[4]{\frac{E_0 b}{4EJ}},\quad \mu_4 = -(1-i)\sqrt[4]{\frac{E_0 b}{4EJ}},$$

worin $i = \sqrt{-1}$ ist.

Hier tritt also der Wert $\sqrt[4]{\frac{E_0 b}{4EJ}}$, der weiterhin mit m bezeichnet wird, zum ersten Male auf. Jede der vier Lösungen von μ stellt eine spezielle Lösung der Differentialgleichung dar. Die allgemeine Lösung enthält alle vier speziellen Lösungen und dazu vier Integrationsfestwerte A, B, C und D. Sie hat die Form

$$y = A \cdot e^{\mu_1 x} + B \cdot e^{\mu_2 x} + C \cdot e^{\mu_3 x} + D \cdot e^{\mu_4 x}$$

und läßt sich durch Einführung der soeben angegebenen Lösungen von μ und des Wertes m verwandeln in

$$y = (A \cdot e^{mx} + B \cdot e^{-mx}) \cos mx + (C \cdot e^{mx} + D \cdot e^{-mx}) \sin mx$$

oder mit $\varphi = mx$

$$y = (A \cdot e^{\varphi} + B \cdot e^{-\varphi}) \cos \varphi + (C \cdot e^{\varphi} + D \cdot e^{-\varphi}) \sin \varphi.$$

Für den Gebrauch verwendet man die Gleichung der elastischen Linie, die mit der Senkungskurve identisch ist, zweckmäßiger in der Form

$$y = A \cdot \mathfrak{Cof}\,\varphi \cos\varphi + B \cdot \mathfrak{Sin}\,\varphi \cos\varphi + C \cdot \mathfrak{Cof}\,\varphi \sin\varphi + D \cdot \mathfrak{Sin}\,\varphi \sin\varphi$$

oder in der neuen, vom Verfasser eingeführten verkürzten Schreibweise

$$y = A \cdot \mathfrak{C}_{\varphi} + B \cdot \mathfrak{C}'_{\varphi} + D \cdot \mathfrak{C}''_{\varphi} + E \cdot \mathfrak{C}'''_{\varphi},$$

wobei die Funktionen $\mathfrak{C}_{\varphi}$, $\mathfrak{C}'_{\varphi}$ usw. die im Text angegebene Bedeutung haben.

Aus der Senkung y ergibt sich
der Bodendruck . . . . . $p = y \cdot E_0$,
das Biegungsmoment . . $M = -EJ \cdot \frac{d^2y}{dx^2}$,
und die Scherkraft . . . $T = -EJ \cdot \frac{d^3y}{dx^3}\left(=\frac{dM}{dx}\right)$.

$$
\text{I.} \quad \left\{
\begin{aligned}
\mathfrak{C}_\varphi &= \mathfrak{Cof}\,\varphi \cdot \cos\varphi, \\
\mathfrak{C}'_\varphi &= \mathfrak{Sin}\,\varphi \cdot \cos\varphi - \mathfrak{Cof}\,\varphi \cdot \sin\varphi, \\
\mathfrak{C}''_\varphi &= -2\,\mathfrak{Sin}\,\varphi \cdot \sin\varphi, \\
\mathfrak{C}'''_\varphi &= 2\,(\mathfrak{Sin}\,\varphi \cdot \cos\varphi + \mathfrak{Cof}\,\varphi \cdot \sin\varphi).
\end{aligned}
\right.
$$

Mit Hilfe von Tabellen der trigonometrischen und der Hyperbelfunktionen lassen sich die $\mathfrak{C}$-Funktionen leicht für jeden Wert von φ berechnen. Für eine beschränkte Zahl von Werten φ ist eine Tabelle der $\mathfrak{C}$-Funktionen hier beigefügt (Tabelle I); mit ihr wird man bei Berechnung praktischer Beispiele in der Regel auskommen.

Tabelle I. ($\mathfrak{C}$= Funktionen.)

1	2	3	4	5	6
φ	$\mathfrak{C}_\varphi$	$\mathfrak{C}'_\varphi$	$\mathfrak{C}''_\varphi$	$\mathfrak{C}'''_\varphi$	φ
0,00	1,000	0,000	0,000	0,000	0,00
0,10	1,000	− 0,001	− 0,020	− 0,400	0,10
0,20	1,000	− 0,005	− 0,080	− 0,800	0,20
0,30	0,999	− 0,018	− 0,180	− 1,200	0,30
0,40	0,996	− 0,043	− 0,320	− 1,598	0,40
0,50	0,990	− 0,084	− 0,500	− 1,996	0,50
0,60	0,979	− 0,144	− 0,719	− 2,390	0,60
0,70	0,960	− 0,228	− 0,977	− 2,778	0,70
0,80	0,932	− 0,341	− 1,274	− 3,156	0,80
0,90	0,891	− 0,485	− 1,608	− 3,521	0,90
1,00	0,834	− 0,664	− 1,978	− 3,867	1,00
1,10	0,757	− 0,881	− 2,381	− 4,186	1,10
1,20	0,656	− 1,141	− 2,814	− 4,469	1,20
1,30	0,527	− 1,445	− 3,273	− 4,707	1,30
1,40	0,366	− 1,796	− 3,753	− 4,887	1,40
1,50	0,166	− 2,196	− 4,248	− 4,994	1,50
$\frac{\pi}{2}$	0,000	− 2,509	− 4,602	− 5,018	$\frac{\pi}{2}$
1,60	− 0,075	− 2,646	− 4,749	− 5,014	1,60
1,70	− 0,364	− 3,146	− 5,247	− 4,928	1,70
1,80	− 0,706	− 3,695	− 5,731	− 4,715	1,80
1,90	− 1,105	− 4,291	− 6,185	− 4,355	1,90
2,00	− 1,566	− 4,930	− 6,596	− 3,823	2,00
2,10	− 2,092	− 5,608	− 6,943	− 3,094	2,10
2,20	− 2,688	− 6,316	− 7,207	− 2,140	2,20
2,30	− 3,356	− 7,046	− 7,363	− 0,934	2,30
2,40	− 4,099	− 7,784	− 7,384	+ 0,553	2,40
2,50	− 4,913	− 8,517	− 7,242	+ 2,354	2,50
2,60	− 5,800	− 9,226	− 6,902	+ 4,494	2,60
2,70	− 6,757	− 9,890	− 6,331	+ 7,004	2,70
2,80	− 7,776	− 10,483	− 5,488	+ 9,908	2,80
2,90	− 8,850	− 10,977	− 4,335	+ 13,232	2,90
3,00	− 9,967	− 11,339	− 2,827	+ 16,994	3,00
3,10	− 11,112	− 11,531	− 0,921	+ 21,21	3,10
π	− 11,591	− 11,548	0,000	+ 23,10	π
3,20	− 12,266	− 11,508	+ 1,430	+ 25,88	3,20
3,30	− 13,405	− 11,227	+ 4,271	+ 31,02	3,30
3,40	− 14,500	− 10,635	+ 7,474	+ 36,60	3,40
3,50	− 15,520	− 9,678	+ 11,606	+ 42,61	3,50
3,60	− 16,422	− 8,294	+ 16,183	+ 49,00	3,60
3,70	− 17,162	− 6,419	+ 21,42	+ 55,73	3,70
3,80	− 17,687	− 3,988	+ 27,34	+ 62,70	3,80
3,90	− 17,939	− 0,928	+ 33,96	+ 69,84	3,90
4,00	− 17,850	+ 2,829	+ 41,31	+ 77,01	4,00

Für den in Text-Abb. 4 dargestellten Belastungsfall lautet die a. a. O. entwickelte Gruppe der fünf Grundwerte:

$$
\text{II.} \quad \left\{
\begin{aligned}
&1. \quad y = \frac{Pm}{E_0 b}\left\{2U\cdot\mathfrak{C}_\varphi - \mathfrak{C}'_\varphi + \tfrac{1}{2}V\cdot\mathfrak{C}'''_\varphi\right\} \\
&2. \quad p = \frac{Pm}{b}\left\{2U\cdot\mathfrak{C}_\varphi - \mathfrak{C}'_\varphi + \tfrac{1}{2}V\cdot\mathfrak{C}'''_\varphi\right\} \\
&3. \quad \operatorname{tg}\nu = -\frac{Pm^2}{E_0 b}\left\{2U\cdot\mathfrak{C}'_\varphi - \mathfrak{C}''_\varphi - 2V\cdot\mathfrak{C}_\varphi\right\} \\
&4. \quad M = -\frac{P}{4m}\left\{2U\cdot\mathfrak{C}''_\varphi - \mathfrak{C}'''_\varphi - 2V\cdot\mathfrak{C}'_\varphi\right\} \\
&5. \quad T = -\frac{P}{2}\left\{U\cdot\mathfrak{C}'''_\varphi + 2\mathfrak{C}_\varphi - 2V\cdot\mathfrak{C}''_\varphi\right\}.
\end{aligned}
\right.
$$

Nebenher sei bemerkt, daß man aus der Bodendruckkurve (2) und der primären Belastung mittels der bekannten zeichnerischen Seilecksverfahren die Kurven für M und T auch auf zeichnerischem Wege herleiten kann.

In sämtlichen fünf Ausdrücken kehren die Stabfestwerte U und V wieder, zu denen sich später noch der Stabfestwert W gesellt. Diese sind nur von der Stablängenzahl $\lambda = m \cdot l$ abhängig und bedeuten:

$$
\text{III.} \quad \left\{
\begin{aligned}
&1. \quad U = \frac{\mathfrak{Sin}\,4\lambda - \sin 4\lambda}{\mathfrak{Cof}\,4\lambda + \cos 4\lambda - 2} \\
&2. \quad V = \frac{\mathfrak{Cof}\,4\lambda - \cos 4\lambda}{\mathfrak{Cof}\,4\lambda + \cos 4\lambda - 2} \\
&3. \quad W = \frac{\mathfrak{Sin}\,4\lambda + \sin 4\lambda}{\mathfrak{Cof}\,4\lambda + \cos 4\lambda - 2}.
\end{aligned}
\right.
$$

Eine für die praktische Anwendung im allgemeinen ausreichende Menge von Zahlenwerten der Stabfestwerte U, V und W sowie für den Nenner $N = \mathfrak{Cof}\,4\lambda + \cos 4\lambda - 2$ ist in Tabelle II zusammengestellt. Sämtliche Festwerte nähern sich mit wachsendem λ schnell dem Grenzwerte 1, den sie bei $\lambda = 1{,}5$ etwa erreichen. Ist $\lambda > 1{,}5$, so kann man den Stab als „langen" Stab bezeichnen; eine vereinfachte Form der Gruppe II für diesen Fall wird weiter unten angegeben werden.

Tabelle II.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
λ	U	V	W	N	$\frac{\mathfrak{C}_{2\lambda}}{N}$	$\frac{\mathfrak{C}'_{2\lambda}}{N}$	$\frac{\mathfrak{C}''_{2\lambda}}{N}$	$\frac{\mathfrak{C}'''_{2\lambda}}{N}$	λ
0,00	∞	∞	∞	0,000	+ ∞	− ∞	− ∞	− ∞	0,00
0,10	10,00	75,00	375,00	0,002	493	− 4,26	− 26,6	− 376	0,10
0,20	5,01	18,80	47,20	0,034	29,3	− 1,26	− 9,42	− 47,0	0,20
0,30	3,34	8,38	14,11	0,173	5,66	− 0,834	− 4,16	− 13,8	0,30
0,40	2,51	4,76	6,16	0,548	1,70	− 0,622	− 2,33	− 5,76	0,40
0,50	2,02	3,10	3,37	1,346	0,620	− 0,493	− 1,48	− 2,88	0,50
0,60	1,70	2,23	2,18	2,82	0,233	− 0,405	− 0,998	− 1,59	0,60
0,70	1,479	1,731	1,606	5,31	0,069	− 0,338	0,707	− 0,919	0,70
0,80	1,325	1,430	1,312	9,29	− 0,008	− 0,285	− 0,511	− 0,540	0,80
0,90	1,215	1,246	1,157	15,42	− 0,046	− 0,240	− 0,372	− 0,306	0,90
1,00	1,138	1,134	1,076	24,65	− 0,064	− 0,200	− 0,268	− 0,155	1,00
1,10	1,084	1,068	1,035	38,43	− 0,070	− 0,164	− 0,188	− 0,056	1,10
1,20	1,049	1,031	1,015	58,85	− 0,070	− 0,132	− 0,126	+ 0,009	1,20
1,30	1,027	1,012	1,007	89,11	− 0,065	− 0,104	− 0,078	+ 0,051	1,30
1,40	1,014	1,003	1,004	134,0	− 0,058	− 0,078	− 0,041	+ 0,074	1,40
1,50	1,007	1,000	1,004	200,7	− 0,050	− 0,055	− 0,014	+ 0,082	1,50
$\frac{\pi}{2}$	1,004	1,000	1,004	266,7	− 0,0435	− 0,0435	0,000	+ 0,087	$\frac{\pi}{2}$
1,60	1,003	1,000	1,004	299,9	− 0,041	− 0,038	+ 0,005	+ 0,086	1,60
1,70	1,001	1,001	1,004	448	− 0,032	− 0,024	+ 0,017	+ 0,082	1,70
1,80	1,001	1,001	1,003	668	− 0,025	− 0,012	+ 0,024	+ 0,073	1,80
1,90	1,001	1,001	1,003	997	− 0,018	− 0,004	+ 0,027	+ 0,063	1,90
2,00	1,001	1,001	1,002	1489	− 0,012	+ 0,002	+ 0,028	+ 0,052	2,00

Werte für besondere Querschnitte.

Linkes Stabende. Unter der Last P wird mit $\varphi = 0$

$$
y_0 = \frac{2\,Pm}{E_0 b}\cdot U, \qquad p_0 = \frac{2\,Pm}{b}\cdot U, \qquad \operatorname{tg}\nu_0 = \frac{2\,Pm^2}{E_0 b}\cdot V,
$$

$$
M_0 = 0 \text{ und } T_0 = 0.
$$

Die Vorzeichen der Werte y_0, p_0 und $\operatorname{tg}\nu_0$ sind so gewählt, daß sie stets mit dem Vorzeichen von P übereinstimmen (Text-Abb. 4).

Mit wachsendem λ werden y_0, p_0 und $\operatorname{tg}\nu_0$ zunächst kleiner und nähern sich dann asymptotisch festen Grenz-

werten, die sie wie oben erwähnt bereits bei $\lambda = 1,5$ etwa erreichen. Es wird dann

$$y_0 = \frac{2\,Pm}{E_0 b}, \quad p_0 = \frac{2\,Pm}{b} \quad \text{und} \quad \operatorname{tg} \nu_0 = \frac{2\,Pm^2}{E_0 b}.$$

Rechtes Stabende. Am freien Ende wird mit $\varphi = 2\lambda$ nach einigen Umformungen

$$y_l = \frac{4\,Pm}{E_0 b} \cdot \frac{\mathfrak{E}'_{2\lambda}}{N}, \qquad p_l = \frac{4\,Pm}{b} \cdot \frac{\mathfrak{E}'_{2\lambda}}{N},$$

$$\operatorname{tg} \nu_l = \frac{4\,Pm^2}{E_0 b} \cdot \frac{\mathfrak{E}''_{2\lambda}}{N}, \qquad M_l = 0 \text{ und } T_l = 0.$$

Zahlenwerte für die Ausdrücke $\frac{\mathfrak{E}'_{2\lambda}}{N}$ und $\frac{\mathfrak{E}''_{2\lambda}}{N}$ sind in den Spalten 7 und 8 der Tabelle II enthalten. Sie geben an, daß diese Ausdrücke zunächst negativ sind und mit wachsendem λ schnell abnehmen; für den langen Stab ($\lambda > 1,5$) kann man sie angenähert $= 0$ setzen.

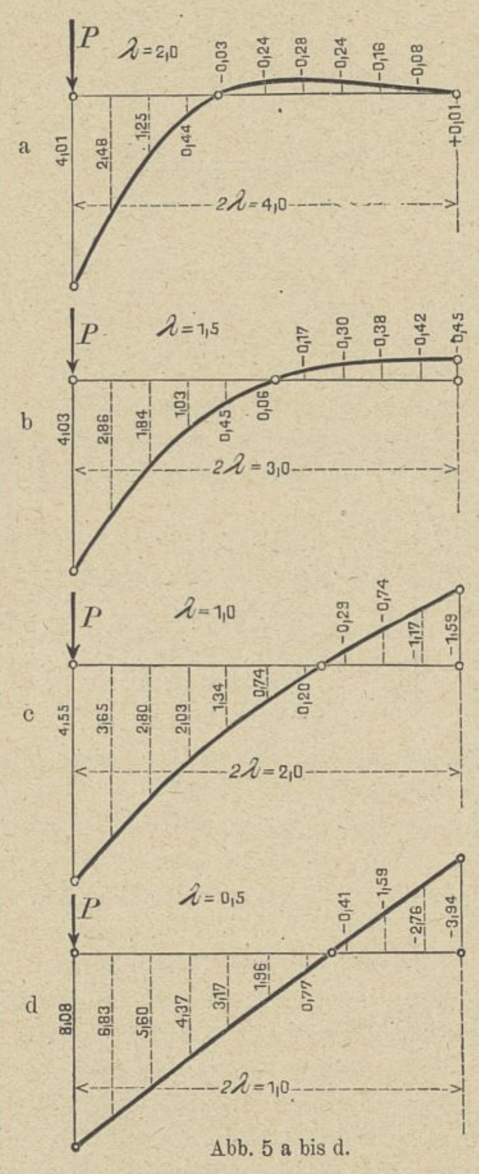


Abb. 5 a bis d.

Bemerkung zu Text-Abb. 5: Die eingeschriebenen Zahlenwerte der Ordinaten geben, wenn sie mit $\frac{Pm}{2E_0 b}$ vervielfacht werden, die Senkungen y in cm, und wenn sie mit $\frac{Pm}{2b}$ vervielfacht werden, die Bodenpressungen p in kg/cm² an. — Die Ordinaten der Text-Abb. 5d sind halb so groß dargestellt wie die der Text-Abb. 5a bis c.

Bedeutung von λ; kurzer Stab und starrer Stab.

Um den Einfluß der Stablängenzahl λ weiterhin deutlich vor Augen zu führen, sind in den Text-Abb. 5a bis d Senkungs- (zugleich Bodendruck)kurven bei verschiedenen Größen von λ zur Darstellung gebracht ($\lambda = 2,0$, $1,5$, $1,0$ und $0,5$). Die Darstellung lehrt, daß bei $\lambda = 0,5$ die Formänderung des Stabes kaum mehr nennenswert ist. Nachdem oben bereits die obere Grenze für das Anwendungsgebiet der Gruppe II bei $\lambda = 1,5$ erkannt worden ist, kann man nunmehr den Wert $\lambda = 0,5$ als die untere Grenze bezeichnen. Alle Stäbe mit $\lambda < 0,5$ sind in das Gebiet der „starren" Stäbe zu verweisen, für die die bekannte einfache Behandlung am Platze ist. Die Zahl 0,5 ist ziemlich willkürlich gewählt und kann bei geringeren Anforderungen an die Genauigkeit auch etwas höher angesetzt werden. Zwischen den Grenzen $1,5 > \lambda > 0,5$ liegt dann das Gebiet des „kurzen" Stabes. Die Grenzfestlegung ist gerade für die Bohlwandtheorie von großer Wichtigkeit.

Langer Stab.

Unter Einsetzung von $U = V = 1$ erhält man aus Gruppe II nach einigen Umformungen:

$$\text{IV.} \quad \begin{cases} 1. \quad y = \dfrac{2\,Pm}{E_0 b} \cdot e^{-\varphi} \cos \varphi, \\ 2. \quad p = \dfrac{2\,Pm}{b} \cdot e^{-\varphi} \cos \varphi, \\ 3. \quad \operatorname{tg} \nu = \dfrac{2\,Pm^2}{E_0 b} \cdot e^{-\varphi} (\cos \varphi + \sin \varphi), \\ 4. \quad M = -\dfrac{P}{m} \cdot e^{-\varphi} \sin \varphi, \\ 5. \quad T = -P \cdot e^{-\varphi} (\cos \varphi - \sin \varphi). \end{cases}$$

In Tabelle III sind Zahlenwerte für die Ausdrücke $e^{-\varphi} \cos \varphi$ usw. angegeben.

Tabelle III.

1	2	3	4	5	6
φ	$e^{-\varphi} \cdot \cos \varphi$	$e^{-\varphi} \cdot (\cos \varphi + \sin \varphi)$	$e^{-\varphi} \cdot \sin \varphi$	$e^{-\varphi} \cdot (\cos \varphi - \sin \varphi)$	φ
0,00	1,000	1,000	0,000	1,000	0,00
0,10	0,900	0,991	0,090	0,810	0,10
0,20	0,803	0,965	0,163	0,640	0,20
0,30	0,708	0,927	0,219	0,489	0,30
0,40	0,618	0,878	0,261	0,356	0,40
0,50	0,533	0,823	0,291	0,242	0,50
0,60	0,453	0,763	0,310	0,143	0,60
0,70	0,380	0,700	0,320	0,060	0,70
0,80	0,313	0,635	0,322	– 0,009	0,80
0,90	0,253	0,571	0,319	– 0,066	0,90
1,00	0,199	0,508	0,310	– 0,111	1,00
1,10	0,151	0,448	0,297	– 0,146	1,10
1,20	0,109	0,390	0,281	– 0,172	1,20
1,30	0,073	0,336	0,263	– 0,190	1,30
1,40	0,042	0,285	0,243	– 0,201	1,40
1,50	0,016	0,238	0,223	– 0,207	1,50
$\frac{\pi}{2}$	0,000	0,208	0,208	– 0,208	$\frac{\pi}{2}$
1,60	– 0,006	0,196	0,202	– 0,208	1,60
1,70	– 0,024	0,158	0,181	– 0,205	1,70
1,80	– 0,038	0,123	0,161	– 0,199	1,80
1,90	– 0,049	0,093	0,142	– 0,190	1,90
2,00	– 0,056	0,067	0,123	– 0,179	2,00
2,50	– 0,066	– 0,017	0,049	– 0,115	2,50
3,00	– 0,049	– 0,042	0,007	– 0,056	3,00
3,50	– 0,028	– 0,039	– 0,011	– 0,018	3,50
4,00	– 0,012	– 0,026	– 0,014	+ 0,002	4,00

2. Belastungsfall. Drehmoment $\mathfrak{M}$ am linken Stabende.

Für die in Text-Abb. 6 dargestellte Belastung durch ein positives Drehmoment $\mathfrak{M}$ lautet die Gruppe der fünf Grundwerte:

$$
\text{V.}\left\{\begin{array}{lll}
1. & y = \dfrac{\mathfrak{M}}{2m^2EJ} & \{V\cdot\mathfrak{E}_\varphi - \tfrac{1}{2}\mathfrak{E}''_\varphi + \tfrac{1}{2}W\cdot\mathfrak{E}'''_\varphi\} \\
2. & p = \dfrac{2\mathfrak{M}m^2}{b} & \{V\cdot\mathfrak{E}_\varphi - \tfrac{1}{2}\mathfrak{E}''_\varphi + \tfrac{1}{2}W\cdot\mathfrak{E}'''_\varphi\} \\
3. & \operatorname{tg}\nu = -\dfrac{\mathfrak{M}}{2mEJ} & \{V\cdot\mathfrak{E}'_\varphi - \tfrac{1}{2}\mathfrak{E}'''_\varphi - 2W\cdot\mathfrak{E}_\varphi\} \\
4. & M = -\dfrac{\mathfrak{M}}{2} & \{V\cdot\mathfrak{E}''_\varphi + 2\mathfrak{E}_\varphi - 2W\cdot\mathfrak{E}'_\varphi\} \\
5. & T = -\dfrac{\mathfrak{M}m}{2} & \{V\cdot\mathfrak{E}'''_\varphi + 2\mathfrak{E}'_\varphi - 2W\cdot\mathfrak{E}''_\varphi\}
\end{array}\right.
$$

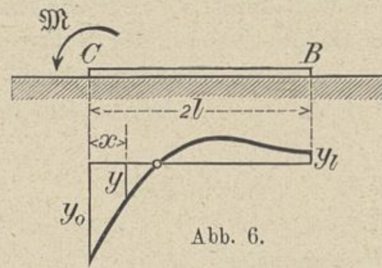


Abb. 6.

Im Ausdruck für y kann man an Stelle von $\dfrac{\mathfrak{M}}{2m^2EJ}$ auch $\dfrac{2\mathfrak{M}m^2}{E_0 b}$ setzen, desgleichen bei $\operatorname{tg}\nu$ statt $\dfrac{\mathfrak{M}}{2mEJ}$ auch $\dfrac{2\mathfrak{M}m^3}{E_0 b}$.

Werte für besondere Querschnitte.

Linkes Stabende. Mit $\varphi = 0$ wird $y_0 = \dfrac{\mathfrak{M}}{2m^2EJ}\cdot V$,

$$p_0 = \frac{2\mathfrak{M}m^2}{b}\cdot V,\ \operatorname{tg}\nu_0 = \frac{\mathfrak{M}}{2mEJ}\cdot W,\ M_0 = -\mathfrak{M},\ T_0 = 0.$$

Mit wachsendem λ werden die Größen y_0, p_0 und $\operatorname{tg}\nu_0$ zuerst kleiner und nehmen für $\lambda \gtrapprox 1{,}5$ feste Werte an, nämlich $y_0 = \dfrac{\mathfrak{M}}{2m^2EJ}$, $p_0 = \dfrac{2\mathfrak{M}m^2}{b}$, $\operatorname{tg}\nu_0 = \dfrac{\mathfrak{M}}{2mEJ}$.

Rechtes Stabende. Mit $\varphi = 2\lambda$ erhält man aus Gruppe V nach einigen Umformungen:

$$y_l = \frac{4\mathfrak{M}m^2}{E_0 b}\cdot\frac{\mathfrak{E}''_{2\lambda}}{N} = \frac{\mathfrak{M}}{m^2EJ}\cdot\frac{\mathfrak{E}''_{2\lambda}}{N},\ p_l = \frac{4\mathfrak{M}m^2}{b}\cdot\frac{\mathfrak{E}''_{2\lambda}}{N},$$

$$\operatorname{tg}\nu_l = \frac{\mathfrak{M}}{mEJ}\cdot\frac{\mathfrak{E}'''_{2\lambda}}{N}.$$

Für die Ausdrücke $\dfrac{\mathfrak{E}''_{2\lambda}}{N}$ und $\dfrac{\mathfrak{E}'''_{2\lambda}}{N}$ sind Zahlenwerte in den Spalten 8 und 9 der Tabelle II angegeben; sie sind zunächst negativ und werden mit wachsendem λ rasch sehr klein.

Langer Stab.

Mit $V = W = 1$ geht Gruppe V durch einige Umformungen in folgende Gruppe VI über:

$$
\text{VI.}\left\{\begin{array}{ll}
1. & y = \dfrac{\mathfrak{M}}{2m^2EJ}\cdot e^{-\varphi}(\cos\varphi - \sin\varphi), \\
2. & p = \dfrac{2\mathfrak{M}m^2}{b}\cdot e^{-\varphi}(\cos\varphi - \sin\varphi), \\
3. & \operatorname{tg}\nu = \dfrac{\mathfrak{M}}{mEJ}\cdot e^{-\varphi}\cos\varphi, \\
4. & M = -\mathfrak{M}\cdot e^{-\varphi}(\cos\varphi + \sin\varphi), \\
5. & T = 2\mathfrak{M}m\cdot e^{-\varphi}\sin\varphi.
\end{array}\right.
$$

3. Belastungsfall. Gleichmäßig verteilte Belastung g.

Bei gleichmäßig verteilter Belastung (Text-Abb. 2a) ist, wie bereits in der allgemeinen Erörterung im § 2 erwähnt worden ist, für jeden Querschnitt x der Bodendruck $p = g$, demnach die Senkung $y = \dfrac{g}{E_0}$. Die Größen $\operatorname{tg}\nu$, M und T sind für alle Querschnitte $= 0$.

§ 4. Der einseitig eingespannte Stab auf elastischer Unterlage.

1. Belastungsfall. Einzellast P am freien Stabende.

Zu Text-Abb. 7 lautet die Gruppe der fünf Grundwerte:

$$
\text{VII.}\left\{\begin{array}{lll}
1. & y = \dfrac{Pm}{E_0 b} & \{2U'\cdot\mathfrak{E}_\varphi - \mathfrak{E}'_\varphi + \tfrac{1}{2}V'\cdot\mathfrak{E}'''_\varphi\} \\
2. & p = \dfrac{Pm}{b} & \{2U'\cdot\mathfrak{E}_\varphi - \mathfrak{E}'_\varphi + \tfrac{1}{2}V'\cdot\mathfrak{E}'''_\varphi\} \\
3. & \operatorname{tg}\nu = -\dfrac{Pm^2}{E_0 b} & \{2U'\cdot\mathfrak{E}'_\varphi - \mathfrak{E}''_\varphi - 2V'\cdot\mathfrak{E}_\varphi\} \\
4. & M = -\dfrac{P}{4m} & \{2U'\cdot\mathfrak{E}''_\varphi - \mathfrak{E}'''_\varphi - 2V'\cdot\mathfrak{E}'_\varphi\} \\
5. & T = -\dfrac{P}{2} & \{U'\cdot\mathfrak{E}'''_\varphi + 2\mathfrak{E}_\varphi - V'\cdot\mathfrak{E}''_\varphi\}
\end{array}\right.
$$

Abb. 7.

Die in Gruppe VII auftretenden Stabfestwerte U' und V' sowie der später hinzukommende Festwert W' haben große Verwandtschaft mit den bereits bekannten Stabfestwerten U, V und W. Es ist nämlich

$$
\text{VIII.}\ \ldots\left\{\begin{array}{l}
U' = \dfrac{\mathfrak{Sin}\,4\lambda - \sin 4\lambda}{\mathfrak{Cof}\,4\lambda + \cos 4\lambda + 2} \\
V' = \dfrac{\mathfrak{Cof}\,4\lambda - \cos 4\lambda}{\mathfrak{Cof}\,4\lambda + \cos 4\lambda + 2} \\
W' = \dfrac{\mathfrak{Sin}\,4\lambda + \sin 4\lambda}{\mathfrak{Cof}\,4\lambda + \cos 4\lambda + 2.}
\end{array}\right.
$$

Der Unterschied liegt also nur im Nenner $N' = \mathfrak{Cof}\,4\lambda + \cos 4\lambda + 2$, wogegen $N = \mathfrak{Cof}\,4\lambda + \cos 4\lambda - 2$ gewesen ist. Infolgedessen haben die Festwerte U', V' und W', wie aus den in Tabelle IV angegebenen Zahlenwerten hervorgeht, im großen und ganzen auch die gleichen Eigenschaften wie die Gruppe U, V und W; insbesondere nähern sie sich mit wachsendem λ rasch dem Grenzwert 1, den sie bei $\lambda = 1{,}5$ etwa erreichen. Da sich die Gruppen II und VII nur in den Stabfestwerten unterscheiden, so geht für den langen Stab die Gruppe VII in Gruppe II oder in die daraus hergeleitete Gruppe IV über, die man natürlich genau genommen nur für die linke, freie Stabhälfte anwenden darf. Es folgt daraus, daß bei langen Stäben die Einspannung des einen Endes keinen Einfluß auf das Verhalten des freien Endes ausübt.

Werte für besondere Querschnitte.

Linkes (freies) Stabende. Unter der Last P wird mit $\varphi = 0$

$$y_0 = \frac{2Pm}{E_0 b}\cdot U',\ p_0 = \frac{2Pm}{b}\cdot U',\ \operatorname{tg}\nu_0 = \frac{2Pm^2}{E_0 b}\cdot V',$$

$$M_0 = 0 \text{ und } T_0 = -P.$$

Tabelle IV.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
λ	U'	V'	W'	N'	$\frac{\mathfrak{C}_{2\lambda}}{N'}$	$\frac{\mathfrak{C}'_{2\lambda}}{N'}$	$\frac{\mathfrak{C}''_{2\lambda}}{N'}$	$\frac{\mathfrak{C}'''_{2\lambda}}{N'}$	λ
0,00	0,000	0,000	0,000	4,000	0,250	0,000	0,000	0,000	0,00
0,10	0,005	0,040	0,200	4,002	0,250	– 0,001	– 0,020	– 0,200	0,10
0,20	0,043	0,159	0,398	4,034	0,247	– 0,011	– 0,079	– 0,396	0,20
0,30	0,138	0,348	0,585	4,173	0,235	– 0,035	– 0,172	– 0,573	0,30
0,40	0,303	0,573	0,743	4,548	0,205	– 0,075	– 0,280	– 0,694	0,40
0,50	0,509	0,783	0,849	5,346	0,156	– 0,124	– 0,370	– 0,724	0,50
0,60	0,703	0,922	0,900	6,82	0,096	– 0,167	– 0,413	– 0,655	0,60
0,70	0,845	0,989	0,915	9,31	0,039	– 0,193	– 0,403	– 0,525	0,70
0,80	0,926	1,000	0,918	13,29	– 0,006	– 0,199	– 0,357	– 0,378	0,80
0,90	0,965	0,990	0,919	19,42	– 0,036	– 0,190	– 0,295	– 0,243	0,90
1,00	0,980	0,975	0,925	28,65	– 0,055	– 0,172	– 0,230	– 0,134	1,00
1,10	0,983	0,977	0,938	42,43	– 0,063	– 0,149	– 0,170	– 0,050	1,10
1,20	0,984	0,967	0,952	62,85	– 0,065	– 0,124	– 0,117	+ 0,009	1,20
1,30	0,983	0,969	0,965	93,11	– 0,062	– 0,099	– 0,074	+ 0,048	1,30
1,40	0,985	0,975	0,976	138,0	– 0,056	– 0,076	– 0,040	+ 0,072	1,40
1,50	0,988	0,982	0,985	204,7	– 0,049	– 0,056	– 0,014	+ 0,083	1,50
$\frac{\pi}{2}$	0,989	0,985	0,989	270,7	– 0,043	– 0,043	– 0,000	+ 0,086	$\frac{\pi}{2}$
1,60	0,990	0,987	0,990	303,9	– 0,040	– 0,038	+ 0,005	+ 0,085	1,60
1,70	0,992	0,992	0,995	452	– 0,032	– 0,023	+ 0,017	+ 0,081	1,70
1,80	0,995	0,995	0,998	672	– 0,024	– 0,012	+ 0,024	+ 0,073	1,80
1,90	0,998	0,999	0,999	1001	– 0,018	– 0,004	+ 0,027	+ 0,063	1,90
2,00	0,999	0,999	0,999	1493	– 0,012	+ 0,002	+ 0,028	+ 0,052	2,00

Rechtes (eingespanntes) Stabende. Bei $\varphi = 2\lambda$ wird $y_l = p_l = \operatorname{tg} \nu_l = 0$, $M_l = \frac{P}{m} \cdot \frac{\mathfrak{C}'''_{2\lambda}}{N'}$ und $T_l = 4P \cdot \frac{\mathfrak{C}_{2\lambda}}{N'}$.

Das Einspannungsmoment M_l und die Scherkraft T_l, die zugleich den Auflagerdruck bei B angibt, nehmen mit wachsendem λ rasch zu sehr kleinen Werten ab, wie sich aus den in den Spalten 6 und 9 der Tabelle IV enthaltenen Zahlenwerten für die Funktionen $\frac{\mathfrak{C}'''_{2\lambda}}{N'}$ und $\frac{\mathfrak{C}_{2\lambda}}{N'}$ ergibt.

2. Belastungsfall. Drehmoment $\mathfrak{M}$ am linken (freien) Stabende.

Zu Text-Abb. 8 gehört folgende Gruppe der Grundwerte:

$$\text{IX.}\begin{cases}
1.\quad y = \frac{\mathfrak{M}}{2m^2EJ}\{V' \cdot \mathfrak{C}_\varphi - \tfrac{1}{2}\mathfrak{C}''_\varphi + \tfrac{1}{2}W' \cdot \mathfrak{C}'''_\varphi\} \\
2.\quad p = \frac{2\mathfrak{M}m^2}{b}\{V' \cdot \mathfrak{C}_\varphi - \tfrac{1}{2}\mathfrak{C}''_\varphi + \tfrac{1}{2}W' \cdot \mathfrak{C}'''_\varphi\} \\
3.\quad \operatorname{tg}\nu = -\frac{\mathfrak{M}}{2mEJ}\{V' \cdot \mathfrak{C}'_\varphi - \tfrac{1}{2}\mathfrak{C}'''_\varphi - 2W' \cdot \mathfrak{C}_\varphi\} \\
4.\quad M = -\frac{\mathfrak{M}}{2}\{V' \cdot \mathfrak{C}''_\varphi + 2\mathfrak{C}_\varphi - 2W' \cdot \mathfrak{C}'_\varphi\} \\
5.\quad T = -\frac{\mathfrak{M}m}{2}\{V' \cdot \mathfrak{C}'''_\varphi + 2\mathfrak{C}'_\varphi - 2W' \cdot \mathfrak{C}''_\varphi\}
\end{cases}$$

Auch diese Gruppe unterscheidet sich von der entsprechenden Gruppe V nur durch die Stabfestwerte U', V' und W' und geht für lange Stäbe in Gruppe V oder die aus ihr hergeleitete Gruppe VI über.

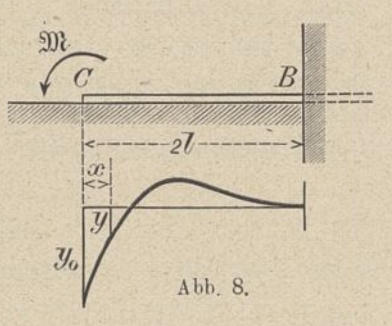


Abb. 8.

Werte für besondere Querschnitte.

Linkes (freies) Stabende. Mit $\varphi = 0$ wird

$$y_0 = \frac{\mathfrak{M}}{2m^2EJ} \cdot V', \; p_0 = \frac{2\mathfrak{M}m^2}{b} \cdot V', \; \operatorname{tg}\nu_0 = \frac{\mathfrak{M}}{mEJ} \cdot W',$$
$$M_0 = -\mathfrak{M} \text{ und } T_0 = 0.$$

Rechtes (eingespanntes) Stabende. Mit $\varphi = 2\lambda$ wird $y_l = p_l = \operatorname{tg}\nu_l = 0$, $M_l = \mathfrak{M} \cdot \frac{4\mathfrak{C}_{2\lambda}}{N'}$, $T_l = \mathfrak{M}m \cdot \frac{4\mathfrak{C}'_{2\lambda}}{N'}$.

Für die Ausdrücke $\frac{\mathfrak{C}_{2\lambda}}{N'}$ und $\frac{\mathfrak{C}'_{2\lambda}}{N'}$ sind Zahlenwerte in den Spalten 6 und 7 der Tabelle IV angegeben.

3. Belastungsfall. Gleichmäßig verteilte Belastung g kg/qcm.

Bei der in Text-Abb. 9 veranschaulichten Belastung empfiehlt es sich, als Abszissen die Abstände $x' = 2l - x$ oder $\varphi' = 2\lambda - \varphi$ vom Nullpunkt B aus zu rechnen. Die Gruppe der fünf Grundwerte lautet dann:

$$\text{X.}\begin{cases}
1.\quad y = \frac{g}{E_0}\{1 - \mathfrak{C}_{\varphi'} + W' \cdot \mathfrak{C}'_{\varphi'} - \tfrac{1}{2}V' \cdot \mathfrak{C}''_{\varphi'}\} \\
2.\quad p = g\,\{1 - \mathfrak{C}_{\varphi'} + W' \cdot \mathfrak{C}'_{\varphi'} - \tfrac{1}{2}V' \cdot \mathfrak{C}''_{\varphi'}\} \\
3.\quad \operatorname{tg}\nu = \frac{gm}{E_0}\{\mathfrak{C}'_{\varphi'} - W' \cdot \mathfrak{C}''_{\varphi'} + \tfrac{1}{2}V' \cdot \mathfrak{C}'''_{\varphi'}\} \\
4.\quad M = \frac{gb}{4m^2}\{\mathfrak{C}''_{\varphi'} - W' \cdot \mathfrak{C}'''_{\varphi'} - 2V' \cdot \mathfrak{C}_{\varphi'}\} \\
5.\quad T = -\frac{gb}{4m}\{\mathfrak{C}'''_{\varphi'} + 4W' \cdot \mathfrak{C}_\varphi - 2V' \cdot \mathfrak{C}'_{\varphi'}\}
\end{cases}$$

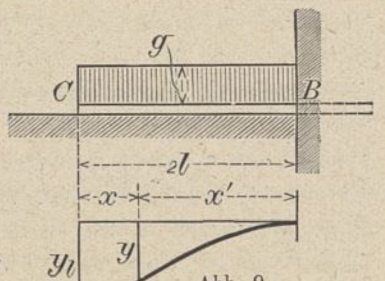


Abb. 9.

Werte für besondere Querschnitte.

Linkes (freies) Stabende. Mit $\varphi' = 2\lambda$ wird

$$y_l = \frac{g}{E_0}\left(1 - 4\frac{\mathfrak{C}_{2\lambda}}{N'}\right), \; p_l = g\left(1 - 4\frac{\mathfrak{C}_{2\lambda}}{N'}\right), \; \operatorname{tg}\nu_l = \frac{4gm}{E_0} \cdot \frac{\mathfrak{C}'_{2\lambda}}{N'},$$
$$M_l = 0 \text{ und } T_l = 0.$$

Die bereits bekannten Brüche $\frac{\mathfrak{C}_{2\lambda}}{N'}$ und $\frac{\mathfrak{C}'_{2\lambda}}{N'}$ nehmen für größere λ rasch ab, so daß sich y_l dem Grenzwert $\frac{g}{E_0}$, p_l dem Grenzwert g und $\operatorname{tg}\nu_l$ dem Grenzwert 0 nähern.

Rechtes (eingespanntes) Stabende. Mit $\varphi' = 0$ wird $y_0 = 0$, $p_0 = 0$, $\operatorname{tg}\nu_0 = 0$, $M_0 = -\frac{gb}{2m^2} \cdot V'$ und $T_0 = -\frac{gb}{m} \cdot W'$.

Das Einspannungsmoment M_0 und die Scherkraft T_0 (zugleich Auflagerdruck bei B) nähern sich mit wachsendem λ festen Grenzwerten, da V' und W' für $\lambda > 1{,}5$ gleich 1 gesetzt werden können; es ist dann

$$M_0 = -\frac{gb}{2m^2} \text{ und } T_0 = -\frac{gb}{4m}.$$

Langer Stab.

Infolge V' und $W' = 1$ geht Gruppe X in folgende Gruppe XI über

$$\text{XI.}\begin{cases}
1.\quad y = \frac{g}{E_0}\{1 - e^{-\varphi'}(\cos\varphi' + \sin\varphi')\} \\
2.\quad p = g\,\{1 - e^{-\varphi'}(\cos\varphi' + \sin\varphi')\} \\
3.\quad \operatorname{tg}\nu = -\frac{2gm}{E_0} \cdot e^{-\varphi'} \cdot \sin\varphi' \\
4.\quad M = -\frac{gb}{2m^2} \cdot e^{-\varphi'} \cdot (\cos\varphi' - \sin\varphi') \\
5.\quad T = -\frac{gb}{m} \cdot e^{-\varphi'} \cdot \cos\varphi'.
\end{cases}$$

Genau gilt die Gruppe bei endlichen Werten von λ nur für den Teil des Stabes in der Nähe der Einspannungsstelle B, während das freie Ende bei C sich beim langen Stab so verhält, als ob die Einspannung nicht vorhanden wäre.

II. Beispiele für die Berechnung von Bohlwänden.

§ 5. Die freistehende, nicht hinterfüllte Bohlwand unter der Wirkung einer wagerechten Kraft P.

Die Bohlwand stehe gemäß Text-Abb. 10a auf der Länge $CB = t$ im Erdreich und werde in der Höhe $AC = h$ durch die Kraft P belastet. Denkt man sich den Teil AC fort und dafür im Punkte C als Ersatz die Kraft P und das Moment $M = P \cdot h$ wirkend, so würde man als Ergebnis der Belastung des Stabes BC, der gleichmäßig elastisch gestützt gedacht wird, durch P und M eine Verteilung des Seitendrucks finden, wie sie in Text-Abb. 10b dargestellt ist. Gegen diese Verteilung wäre nichts einzuwenden, wenn die elastische Unterlage eine feste Masse, wie Beton oder Fels wäre. In diesem Falle würde unmittelbar an der Oberfläche, im Punkte C, der größte Flächendruck p_0 auftreten; nach der Tiefe würde der Seitendruck rasch abnehmen. Anders liegt der Fall aber, wenn der Stab in loser Erde eingespannt ist. Hier darf der Flächendruck p_0 bzw. p niemals größer sein als der Widerstand, den der Erdboden entgegenzusetzen imstande ist. Dieser Widerstand ist aber an der Oberfläche Null und nimmt proportional der Tiefe nach dem Gesetz des passiven Erddrucks zu. Der größte Flächendruck p_0 kann demnach, wie Text-Abb. 10c zeigt, erst in einer gewissen Tiefe a unterhalb der Erdoberfläche vorhanden sein. Gleichzeitig verkürzt sich die als elastisch eingespannt zu bezeichnende Strecke von der Länge $CB = t$ um das Maß $CC' = a$ auf die Länge $C'B = 2l = t - a$. Denkt man sich den Teil $C'A$ der Bohlwand wiederum entfernt und durch eine im Punkte C' angreifende Scherkraft P' und ein Drehmoment $\mathfrak{M}'$ ersetzt (Text-Abb. 10d), so wirkt jetzt oberhalb C' außer P noch der Erdwiderstand $P_1 = k \cdot a^2$ und es wird

1) . . . $P' = P + P_1 = P + k \cdot a^2$ und

2) . $\mathfrak{M}' = P(h+a) + P_1 \cdot \dfrac{a}{3} = P(h+a) + \dfrac{ka^3}{3}$.

Die Vorzeichen sind so gewählt, daß der Zahlenwert der Konstanten k des Erdwiderstandes mit negativem Vorzeichen eingeführt werden muß. Da der Flächendruck p auf der Strecke CC' positiv sein soll, wenn er die entgegengesetzte Richtung besitzt wie die Kraft P, so lautet der Ausdruck für den passiven Erddruck auf die Flächeneinheit in der Tiefe x: $p = -\dfrac{2kx}{b}$, worin b die Stabbreite bedeutet.

Für die weitere Behandlung ist es von Bedeutung, zu wissen, ob die Strecke $C'B$ nach den Ausführungen im § 3 als kurzer $(1{,}5 > \lambda > 0{,}5)$, langer $(\lambda > 1{,}5)$ oder als starrer Stab $(\lambda < 0{,}5)$ anzusehen ist.

Kurzer Stab $(1{,}5 > \lambda > 0{,}5)$.

Nach den im § 3 entwickelten Formeln ist der Bodendruck p_0 am Ende eines durch die in demselben Endpunkt angreifenden Größen P' und $\mathfrak{M}'$ belasteten Stabes:

$$p_0 = \frac{2P'm}{b} \cdot U + \frac{2\mathfrak{M}'m^2}{b} \cdot V;$$

da anderseits $p_0 = -\dfrac{2ka}{b}$ ist, so ergibt sich als Bestimmungsgleichung für die Unbekannte a die Gleichung

3) . . $-\dfrac{2ka}{b} = \dfrac{2P'm}{b} \cdot U + \dfrac{2\mathfrak{M}'m^2}{b} \cdot V$ oder

3a) . . . $\dfrac{k \cdot a}{m} + P' \cdot U + \mathfrak{M}'m \cdot V = 0.$

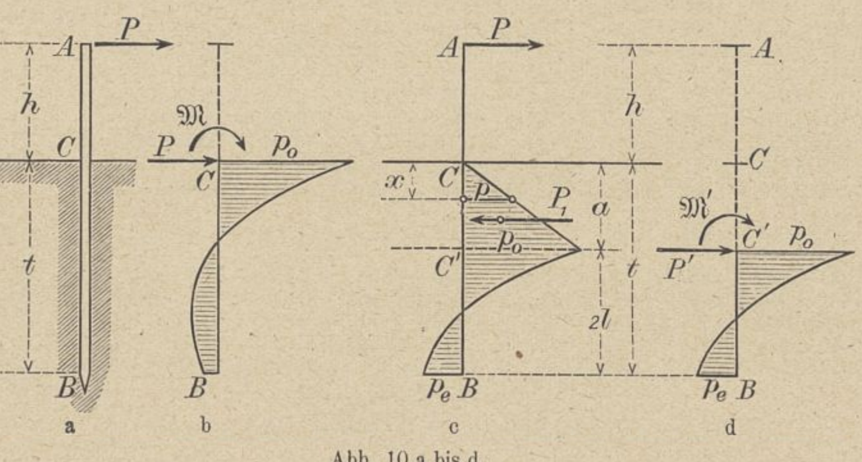


Abb. 10 a bis d.

Setzt man $\alpha = a \cdot m$, $\eta = h \cdot m$ und führt P' und $\mathfrak{M}'$ mit ihren in Gleichung 1 und 2 angegebenen Werten ein, so erhält man mit $k' = \dfrac{k}{m^2}$

4) $V \cdot \alpha^3 + 3U \cdot \alpha^2 + 3\alpha \cdot \left(1 + \dfrac{P}{k'} \cdot V\right) + (U + V \cdot \eta) \cdot \dfrac{3P}{k'} = 0.$

Diese Gleichung stellt jedoch nur dann eine einfache Gleichung dritten Grades für α dar, aus der α sofort mittels der kardanischen Lösung berechnet werden kann, wenn die Rammtiefe t frei wählbar ist. Dann kann man nämlich auch die Größe l oder λ nach Belieben wählen, z. B. $\lambda = 0{,}8$, so daß die in Gleichung 4 vorkommenden Größen U und V, die nach Gruppe III reine Funktionen von λ sind, von α unabhängig sind.

Ist dagegen die Rammtiefe t gegeben, so ist damit auch $2l = t - a$ festgelegt, und es werden U und V Funktionen von α. In diesem Falle läßt sich die Gleichung 4 am bequemsten durch Probieren nach α auflösen. Man wählt eine Reihe von Versuchswerten für α, entnimmt aus Tabelle II die zu jedem Versuchswert α gehörigen Werte U und V und rechnet sich den Wert der linken Seite von Gleichung 4 zahlenmäßig aus. Trägt man diese Werte als Kurve auf, so findet man leicht mit jeder gewünschten Genauigkeit, für welche Größe von α der Wert zu Null wird.

Langer Stab.

Da für $\lambda > 1{,}5$ die Festwerte $U = V = 1$ werden, so nimmt Gleichung 4 die einfachere Form:

4a) . $\alpha^3 + 3\alpha^2 + 3\alpha\left(1 + \dfrac{P}{k'}\right) + (1 + \eta)\dfrac{3P}{k'} = 0$

an. Aus Gleichung 4a läßt sich α stets mittels der kardanischen Lösung ausrechnen; die Tiefe a ist beim langen Stab von der Rammtiefe t überhaupt unabhängig; sie ist gegeben allein durch P, k und $m = \sqrt[4]{\dfrac{E_0 b}{4EJ}}$.

Starrer Stab.

Für $\lambda < 0{,}5$ kann man in Gleichung 4 Näherungswerte für U und V einführen, die man findet, wenn man die in Gruppe III angegebenen Formeln als unendliche Reihen entwickelt. Es ist dann für sehr kleine λ $U = \frac{1}{\lambda}$ und $V = \frac{3}{4\lambda^2}$; damit erhält man aus Gleichung 4 nach einigen Umformungen:

$$4b) \quad a(a+2l)^2 + \frac{P}{k}(3a+4l+3h) = 0$$

oder mit $t = a+2l$:

$$4c) \quad a = -\frac{2t+3h}{1+\frac{kt^2}{P}}$$

Die Formel 4c kann man auch ohne den Umweg über Gleichung 4 unmittelbar gemäß Text-Abb. 11 aus den beiden Gleichgewichtsbedingungen herleiten. Diese heißen:

$$\frac{a \cdot p_0}{2} + 2l \cdot p_0 - \left(p_0^{(2)} + p_e^{(-1)}\right) \cdot \frac{2l}{2} - \frac{P}{b} = 0$$

$$\frac{a^2}{3} \cdot p_0 + 2l(a+l) \cdot p_0 - l(a + \tfrac{4}{3}l)(p_0 - p_e) + \frac{P \cdot h}{b} = 0.$$

In diesen beiden Gleichungen sind a und p_e unbekannt. Setzt man $p_0 = -\frac{2ka}{b}$, so erhält man a wie oben in Gleichung 4c, ferner:

$$5) \quad p_e = -\frac{2kt}{b} + \frac{P+kt^2}{bl} \quad \text{oder}$$

$$5a) \quad p_e = -\frac{2P}{b} \frac{kt(3h+t) - P}{3P(h+t) - kt^3}.$$

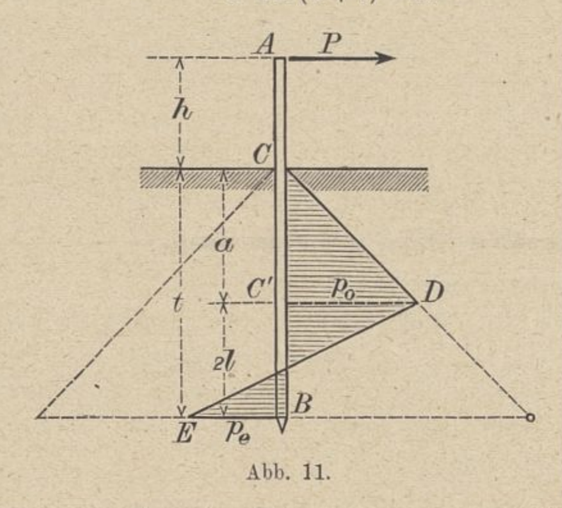


Abb. 11.

Da in den Gleichungen 4c und 5a die Größe m nicht mehr vorkommt, und da man alle gesuchten Werte mittels der Gleichgewichtsbedingungen finden kann, so kann man den Grenzfall des kurzen unteren Endes als statisch bestimmt bezeichnen. Doch bleibt zu beachten, daß man das Biegsamkeitsmaß m braucht, um beurteilen zu können, ob der erwähnte Grenzfall vorliegt.

Die Standsicherheit der Bohlwand.

Die Standsicherheit der Bohlwand wird gefährdet, wenn der Seitendruck p_e an der Spitze der Bohlwand den Wert des passiven Erdwiderstandes erreicht, wenn also $p_e = \frac{2kt}{b}$ wird.

Die Gefahr, das p_e den Grenzwert erreicht, liegt am nächsten beim starren Ende. Man kann sich leicht klarmachen, daß p_e stets $< \frac{2kt}{b}$ ist, solange P' dasselbe Vorzeichen hat wie $\mathfrak{M}'$.

Nach Text-Abb. 12 ist nämlich bei Belastung durch P' $p_e' = -\frac{p_0'}{2}$ und bei Belastung durch $\mathfrak{M}'$ $p^{e''} = -p_0''$. Mithin ist $p_e = p_e' + p_e'' = -\frac{p_0'}{2} - p_0''$, also sogar $< -p_0$. Mit $P' = 0$ wird $p_e = -p_0$ und erst, wenn P' negativ ist, kann der Grenzfall $p_e = \frac{2kt}{b}$ möglich werden. Als Bedingung dafür kann man aus Gleichung 5 ableiten:

$$6) \quad P \overline{\gtrless} -k\{a^2 - 4l^2\} \text{ und } P' = 4kl^2.$$

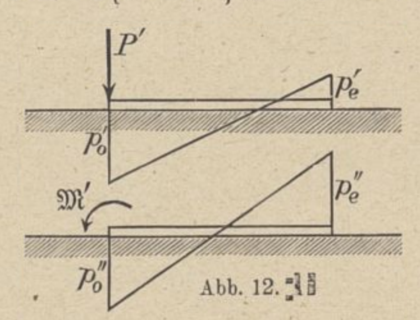


Abb. 12.

Beim kurzen Stabe wird

$$p_e = \frac{4P'm}{b} \cdot \frac{\mathfrak{C}_{2\lambda}'}{N} + \frac{4\mathfrak{M}'m}{b} \cdot \frac{\mathfrak{C}_{2\lambda}''}{N};$$

hier gilt das für den starren Stab Gesagte in noch höherem Maße; denn p_e ist im Verhältnis zu p_0 noch kleiner als beim starren Stabe, und P' muß einen hohen negativen Wert annehmen, um die Gefahrgrenze zu erreichen. Beim langen (endlichen) Stabe und beim kurzem Stabe, wenn λ in der Nähe der Grenze 1,5 liegt, ist der Wert p_e stets so klein, daß man ihn vernachlässigen kann; in diesem Falle hat die Bohlwand eine unbedingte Standsicherheit.

Nach dem eben Ausgeführten kann man folgende Regel aufstellen:

„Eine Gefahr für die Standsicherheit einer Bohlwand besteht nur dann, wenn das untere Bohlwandende als kurzer Stab $(1{,}5 > \lambda > 0{,}5)$ oder als starr $(\lambda < 0{,}5)$ angesehen werden kann, und sie ist um so größer, je kleiner λ ist. Ist $\lambda > 1{,}5$, so ist jede Gefahr für die Standsicherheit ausgeschlossen."

Was den zu wählenden Standsicherheitsgrad anbelangt, so kann man von zwei Gesichspunkten ausgehen. Einmal kann man sagen, es sei eine n-fache Standsicherheit vorhanden, wenn der Seitendruck an der Bohlwandspitze p_e erst unter der Last $n \cdot P$ den Grenzwert $\frac{2kt}{b}$ erreicht; oder man faßt die Standsicherheit dann als eine n-fache auf, wenn unter der einfachen Last P der Spitzendruck $p_e = \frac{1}{n} \cdot \frac{2kt}{b}$ ist. Beide Auffassungen sind möglich, und je nach den Umständen erscheint die eine oder die andere zweckmäßiger. Die Zahl n darf man nicht zu klein wählen, insbesondere wenn man an die Versuche von Engels erinnert, die im Zentralblatt der Bauverwaltung, Jahrgang 1903, S. 273 u. 649, veröffentlicht sind. Nach diesen hatte es den Anschein, als ob eine Bewegung der Bohlenspitze eintrat, wenn der Spitzendruck die Höhe des hydrostatischen Seitendruckes γt vermindert um den aktiven Erddruck erreichte. Läßt man auch dahingestellt sein, ob die unter bestimmten Versuchsanordnungen beobachteten Ergebnisse volle Gültigkeit für jede Bodenart, insbesondere für gewachsenen Boden haben,

so mahnen diese jedenfalls zur Vorsicht. Im übrigen muß es der Zukunft überlassen bleiben, genauere Vorschriften für die Höhe von n zu geben.

Bruchsicherheit der Bohlwand.

Das Biegungsmoment der Bohlwand wächst zunächst geradlinig bis zur Erdoberfläche (Text-Abb. 13) und erreicht in C den Wert $P \cdot h$; unterhalb von C wächst es noch weiter nach dem Gesetz

$$M = P(h+x) + \frac{kx^3}{3}.$$

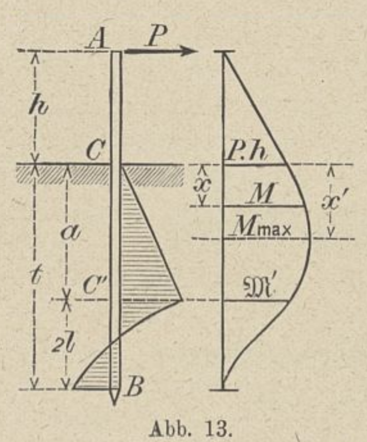


Abb. 13.

Das Höchstmoment liegt nach eingehenden Untersuchungen (vgl. auch den nächsten Abschnitt) in der Regel auf der Strecke CC', es ist also meist $M_{max} > \mathfrak{M}'$, dem in Punkt C' erreichten Wert des Moments. Aus der Bedingung $\frac{dM}{dx} = 0$ folgt die Tiefe x', in der das Höchstmoment liegt, zu $x' = \sqrt{\frac{-P}{k}}$, worin k stets ein negativer Betrag ist. Das Höchstmoment hat die Größe

$$7) \quad \ldots\ldots \quad M_{max} = P \cdot h - \frac{9P^2}{4kb}.$$

Sollte $x' > a$ sein, so liegt das Größtmoment in der elastischen Einspannung und ist dann meist nur wenig größer als $\mathfrak{M}'$. Da man aber die Stärke der Bohlwand kennen muß, bevor man a berechnet, so empfiehlt es sich, zur Dimensionierung stets nach eben angegebener Formel $M_{max} = Ph - \frac{9P^2}{4kb}$ zu rechnen. Ergibt sich daraufhin $a < x'$, so hat man einen geringen Fehler nach der sicheren Seite hin begangen.

Berechnung eines Zahlenbeispiels.

Es sei $P = 1000$ kg, $h = 300$ cm, $d = 24$ cm, $b = 100$ cm. Die Bohlwand möge in gewachsenem Boden von hoher Festigkeit stehen, für den die Elastizitätszahl $E_0 = 100$ kg/cm³ durch Versuche festgestellt sei. Die Bohle bestehe aus Kiefernholz mit $E = 108\,000$ kg/cm². Ber Beiwert k hängt vom passiven Erdwiderstand ab; da es sich hier um festen gewachsenen Boden handeln soll, darf von der Annahme eines aktiven Erddrucks auf der Gegenseite abgesehen werden; bei loser Erde könnte der Einfluß des aktiven Erddrucks im Ausdruck für k berücksichtigt werden. Mit $\varrho = 30^0$ (Reibungswinkel im widerstehenden Erdreich nach der Auflockerung durch die Verbiegung der Bohlwand) und $\gamma_e = 0{,}0018$ kg/cm³ (Einheitsgewicht des Erdbodens) wird

$$k = -\tfrac{1}{2}\gamma_e b \operatorname{tg}^2\left(45^0 + \frac{\varrho}{2}\right) = -0{,}27 \text{ kg/cm}^2.$$

Es wird ferner das Biegsamkeitsmaß

$$m = \sqrt[4]{\frac{E_0 b}{EJ}} = \sqrt[4]{\frac{3E_0}{Ed^3}},$$

wenn man $J = \frac{bd^3}{12}$ einsetzt, oder in Zahlen

$$m = \sqrt[4]{\frac{3 \cdot 100}{108000 \cdot 24^3}} = \frac{1}{47{,}2 \text{ cm}}.$$

Die Rammtiefe t sei nicht gegeben; es soll vielmehr an Hand dieses Beispiels untersucht werden, wie groß die Rammtiefe am zweckmäßigsten zu wählen ist und in welchem Zusammenhang sie mit den Werten a, λ und der Standsicherheit n steht.

Die Rechnungen, deren Ergebnisse in Tabelle V übersichtlich zusammengestellt sind und zu denen die Abbildungen 1 bis 5 auf Blatt 26 im Atlas gehören, sind für eine Reihe frei gewählter Werte von λ zwischen 1,5 und 0,4 durchgeführt.

Für $\lambda = 1{,}5$ erhält man für die Gleichung 4a) mit

$$\eta = h \cdot m = \frac{300}{47{,}2} = 6{,}35 \text{ und } k' = \frac{k}{m^2} = -0{,}27 \cdot 47{,}2^2 = -601{,}5 \text{ kg}$$

in Zahlen die Gleichung $a^3 + 3a^2 - 1{,}99a - 7{,}35 \cdot 4{,}99 = 0$, woraus mittels der kardanischen Lösung $a = 2{,}72$ folgt. Mithin wird die Einspanntiefe $a = \frac{a}{m} = 2{,}72 \cdot 47{,}2 = 128$ cm und die Gesamttiefe $t = a + 2l = \frac{a + 2\lambda}{m} = (2{,}72 + 3{,}00) \cdot 47{,}2 = 269$ cm.

Für die anderen Werte von λ ist der Wert a jedesmal in gleicher Weise nach Gleichung 4 bestimmt worden, wobei die Zahlenwerte für U und V aus der Tabelle II entnommen wurden (Spalte 2 der Zusammenstellung).

Weiter wurden

$$a = \frac{a}{m}, \quad t = a + 2l, \quad P' = P + ka^2 = 1000 - 0{,}27a^2,$$

$$\mathfrak{M}' = P(h+a) + \frac{ka^3}{3} = 1000\,(300 + a) - 0{,}27 \cdot \frac{a^3}{3},$$

$$\frac{P'm}{b} = \frac{P'}{47{,}2 \cdot 100}, \quad \frac{2\mathfrak{M}'m^2}{b} = \frac{2\mathfrak{M}'}{47{,}2^2 \cdot 100}, \quad U \cdot \frac{P'm}{b}, \quad V \cdot \frac{\mathfrak{M}'m^2}{b}$$

berechnet (Spalte 3 bis 10) und aus den beiden letzten Werten $p_0 = U \cdot \frac{P'm}{b} + V \cdot \frac{2\mathfrak{M}'m^2}{b}$ gebildet (Spalte 11), wobei das Ergebnis für p_0 mit dem aus $p_0 = -\frac{2ka}{b} = +0{,}0054 \cdot a$ berechneten übereinstimmen muß.

Für jeden Wert von λ wurden nunmehr die Bodendruckkurven für das elastisch eingespannte Ende von der Länge $2l$ durch Berechnung einer Reihe von Werten gezeichnet (Abb. 1 bis 5 auf Bl. 26 im Atlas). Zunächst ist der Bodendruck infolge P':

$$p_1 = \frac{P'm}{b}(2U \cdot \mathfrak{C}_\varphi - \mathfrak{C}'_\varphi + \tfrac{1}{2}V \cdot \mathfrak{C}''_\varphi)$$

und infolge M'

$$p_2 = \frac{2\mathfrak{M}'m^2}{b}(V \cdot \mathfrak{C}_\varphi - \tfrac{1}{2}\mathfrak{C}''_\varphi + \tfrac{1}{2}W \cdot \mathfrak{C}'''_\varphi);$$

diese Kurven sind einzeln in den Abb. 1a u. b bis 5a u. b auf Bl. 26 im Atlas dargestellt und in den Abb. c nach $p = p_1 + p_2$ zusammengesetzt. In den Abb. 1d bis 5d Bl. 26 ist die Bodendruckverteilung für die ganze Bohlwand aufgezeichnet.

Für die Standsicherheit sind die Werte für den Bodendruck p_e an der Spitze maßgebend; diese sind in Spalte 12 der Übersicht zusammengeschrieben und mit dem passiven Erddruck $p_e' = \frac{-2kt}{b} = +0{,}0054 \cdot t$ verglichen (Spalte 13). Um für die verschiedenen Beispiele den vorhandenen Standsicherheitsgrad n nachzuweisen, sind in Text-Abb. 14 die Werte p_e und p_e' graphisch aufgetragen; die Kurven schneiden sich bei $\lambda = 0{,}8$. Hier ist also, wenn bei n-facher Stand-

Tabelle V. Zusammenstellung der Berechnungsergebnisse.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
λ	α	a cm	t cm	P' kg	$\mathfrak{M}'$ tm	$\frac{P'm}{b}$ kg/cm²	$\frac{2\mathfrak{M}'m^2}{b}$ kg/cm²	$U\cdot\frac{P'm}{b}$	$V\cdot\frac{2\mathfrak{M}'m^2}{b}$	p_o kg/cm²	p_e kg/cm²	p_e' kg/cm²	n
1,5	2,72	128	269	− 3400	2,39	− 0,72	2,14	− 1,45	+ 2,14	0,69	+ 0,10	− 1,45	∞
1,2	2,72	128,5	241,5	− 3450	2,375	− 0,725	2,13	− 1,51	+ 2,20	0,69	− 0,16	− 1,30	> 6
1,0	2,74	129,5	223,5	− 3500	2,35	− 0,74	2,12	− 1,69	+ 2,40	0,71	− 0,54	− 1,21	2,15
0,8	2,82	133	209	− 3770	2,21	− 0,80	1,99	− 2,12	+ 2,84	0,72	**− 1,13**	**− 1,13**	**1,0**
0,6	2,97	140	197	− 4300	1,933	− 0,91	1,73	− 3,09	+ 3,86	0,77	− 1,99	− 1,06	Keine Standsicherheit vorhanden.
0,4	3,18	150	188	− 5080	1,463	− 1,075	1,31	− 5,41	+ 6,23	0,82	− 3,47	− 1,015	

sicherheit $p_e = \frac{1}{n}\cdot p_e'$ sein soll, $n = 1$ und damit die geringste mögliche Rammtiefe $t = 209$ cm gegeben. Jede weitere Verkürzung von t hat sofortige Störung des Gleichgewichts zur Folge. Die beiden Untersuchungen für $\lambda = 0{,}6$ und $\lambda = 0{,}4$ haben demnach nur noch theoretischen Wert, praktisch sind sie unmöglich. Soll nun der Standsicherheitsgrad $n = 2$-, 3-, 4-,

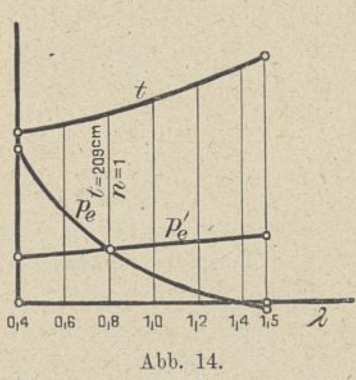


Abb. 14.
(Bestimmung der Rammtiefe t bei einfacher Standsicherheit.)

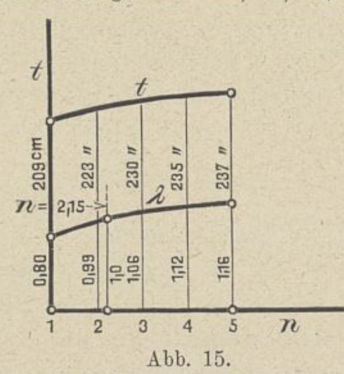


Abb. 15.
(Beziehung zwischen Standsicherheit n, Rammtiefe t und Einspannzahl λ.)

5fach sein, so findet man durch Abgreifen aus Text-Abb. 14 ungefähr für $p_e = \frac{-1{,}13}{2}, \frac{-1{,}13}{3}, \frac{-1{,}13}{4}, \frac{-1{,}13}{5}$ usw. die Rammtiefen $t = 223$, 230, 235, 237 cm usw., entsprechend $\lambda = 0{,}99$, 1,06, 1,12, 1,16 usw. Diese Werte sind wieder in Text-Abb. 15 graphisch aufgetragen, aus dieser erhält man durch Abgreifen die in Spalte 14 angegebenen Standsicherheitsgrade. Man bekommt hier ein gutes Bild davon, wie sicherheitsgrad zunimmt, wenn die Rammtiefe nur wenig schnell der Standgrößer wird[2]).

Das größte Biegungsmoment tritt auf in der Tiefe $x' = \sqrt{\frac{-P}{k}} = \sqrt{\frac{1000}{0{,}27}} = 60{,}9$ cm. Da a nach Spalte 3 der Übersicht zwischen den Grenzen 128 und 133 cm liegt, so ist stets $x' < a$. Die Bohlwand wird also in allen Fällen innerlich gleich beansprucht. Es ergibt sich

$$M_{\max} = 1000(300 + 60{,}9) - 0{,}27\cdot\frac{60{,}9^3}{3} = 340\,600 \text{ kg/cm}$$

und die Biegungsspannung

$$\sigma = \frac{340\,600\cdot 6}{100\cdot 24^2} = \sim 35{,}5 \text{ kg/cm}^2.$$

Abb. 16.
(Beziehung zwischen λ, a und t.)

2) Auch die Strecke a ändert sich wenig, wenn λ von 1,5 bis 0,8 abnimmt; vgl. die Text-Abb. 16, welche die Veränderlichkeit von a und t mit λ zeigt.

Zur Berechnung des Verlaufs der Momentenkurven im Teile der elastischen Einspannung sind die im § 3 mitgeteilten Gleichungen 4 der Gruppen II und V zu benutzen, nämlich für die Belastung durch P'

$$M_1 = -\frac{P'}{4m}(2\,U\cdot\mathfrak{C}_\varphi'' - \mathfrak{C}_\varphi''' - 2\,V\cdot\mathfrak{C}_\varphi')$$

und für die Belastung durch $\mathfrak{M}'$

$$M_2 = -\frac{\mathfrak{M}'}{2}(V\cdot\mathfrak{C}_\varphi'' + 2\,\mathfrak{C}_\varphi - 2\,W\cdot\mathfrak{C}_\varphi').$$

§ 6. Die freistehende Bohlwand mit Hinterfüllung.

Um das in Text-Abb. 17 dargestellte Beispiel möglichst einfach zu gestalten, sei angenommen, daß auf der hinterfüllten Seite der Bohlwand das Gesetz für die Zunahme des aktiven Erddrucks auf der ganzen Bohlwandlänge sich nicht ändere. Der auf der Strecke AC wirkende Erddruck sei $P_1 = k_1\cdot h^2$, der spezifische Erddruck im Punkte C auf die Breite b ist dann $g = 2k_1\cdot h$.

Unterhalb des Punktes C berücksichtigt man die Tatsache, daß die Bohlwand auf beiden Seiten mit dem Erdreich in

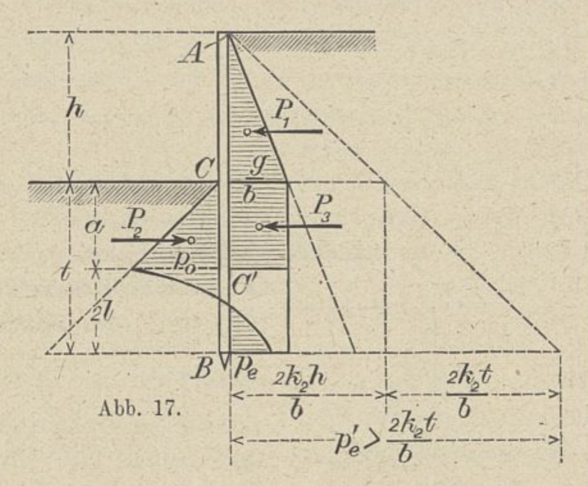


Abb. 17.

Berührung steht, bei gewachsenem Erdboden zweckmäßig dadurch, daß man auf der Seite der Hinterfüllung vom Punkte C bis zur Spitze B einen gleichmäßigen Überdruck von der Größe $g = 2k_1h$ in Rechnung stellt. Auf der zu bestimmenden Strecke a wirkt dann die Kraft $P_3 = 2k_1h\cdot a$. Im übrigen ist die Art und Weise, wie man den aktiven Erddruck berücksichtigt, sowie die Erweiterung der Aufgabe dahin, daß man den Erddruck bei wechselnden Bodenschichten in mehrere Unterteile zerlegt, für die Behandlung der Aufgabe von gänzlich untergeordneter Bedeutung.

Auf der Gegenseite wirkt der Erdwiderstand $P_2 = k_2\cdot a^2$. Die Tiefe a, von der ab die Bohlwand als elastisch eingespannt betrachtet wird, ist gesucht und wird in derselben

Weise ermittelt wie im vorigen Abschnitt. Der elastisch eingespannte Teil $C'B$, dessen Länge wiederum $2l$ sei, verhält sich wie ein elastisch gelagerter Stab, der im Punkte C' durch die Kraft $P' = P_1 + P_2 + P_3$ und das Drehmoment $\mathfrak{M}' = P_1 \cdot \left(\frac{h}{3} + a\right) + P_2 \cdot \frac{a}{3} + P_3 \cdot \frac{a}{2}$ sowie auf der ganzen Länge durch die gleichmäßig verteilte Last $g = 2k_1 \cdot h$ beansprucht wird.

Die Tiefe a findet man durch die Bedingung

$$p_0 = -\frac{2k_2 a}{b} = \frac{2P'm}{b} \cdot U + \frac{2\mathfrak{M}'m^2}{b} \cdot V + \frac{g}{b}$$

oder

$$8) \qquad P' \cdot U + \mathfrak{M}'m \cdot V + \frac{g}{2m} + \frac{k_2 a}{m} = 0.$$

$$9) \text{ Mit } \quad P' = k_1 h^2 + k_2 a^2 + 2k_1 ha$$

$$10) \text{ und } \mathfrak{M}' = \frac{k_1 h^3}{3} + k_1 \cdot h^2 \cdot a + \frac{k_2 a^3}{3} + k_1 ha^2 \text{ sowie unter}$$

Einführung von $\frac{k_2}{k_1} = i$, $h \cdot m = \eta$ und $a \cdot m = \alpha$

ergibt sich als Bestimmungsgleichung für α:

$$11) \quad U(\eta^2 + i \cdot \alpha^2 + 2\eta\alpha) + V\left(\frac{\eta^3}{3} + \eta^2 \cdot \alpha + i \cdot \frac{\alpha^3}{3} + \eta\alpha^2\right) + \eta + i \cdot \alpha = 0.$$

Aus der Gleichung 11 kann α mittels der kardanischen Lösung berechnet werden, wenn die Festwerte U und V bekannt sind. Dies ist übereinstimmend mit den im vorigen Abschnitt gemachten Angaben der Fall, wenn $\lambda > 1{,}5$ ist, weil dann $U = V = 1$ ist, oder wenn die Rammtiefe t und damit λ frei wählbar sind; ist dagegen die Rammtiefe t gegeben, so sind U und V mit α veränderlich und α kann nur durch das Versuchsverfahren bestimmt werden.

Die im vorigen Abschnitt über die Veränderlichkeit der Rammtiefe bei verschiedenen Werten von λ, über die Standsicherheit und die Bruchsicherheit der Bohlwand gemachten Ausführungen behalten im großen und ganzen auch für die hinterfüllte Bohlwand Geltung. Die Standsicherheit ist bei gleichem Wert p_e (Seitendruck an der Bohlwandspitze B, vgl. Text-Abb. 17) bei der hinterfüllten Bohlwand erheblich größer als bei der nicht hinterfüllten, weil der gefährliche Grenzwert $p_e' > \frac{2k_2 t}{b}$ infolge der auf dem Erdreich ruhenden Auflast der Hinterfüllungserde ist.

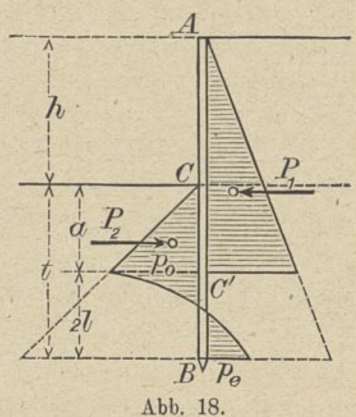


Abb. 18.

Etwas einfacher und für das Endergebnis mit ungefähr ebenso großer Genauigkeit gelangt man zum Ziele, wenn man gemäß Text-Abb. 18 annimmt, daß der aktive Erddruck sich bis zur Tiefe a fortpflanzt und dafür unterhalb C' überhaupt kein aktiver Erddruck wirkt.

Es ist dann $P_1 = k_1(h + a)^2$,

$$12) \quad \ldots \quad P' = k_1(h + a)^2 + k_2 a^2 \text{ und}$$

$$13) \quad \ldots \quad \mathfrak{M}' = k_1 \frac{(h + a)^3}{3} + \frac{k_2 a^3}{3}.$$

Man erhält als Bestimmungsgleichung für α:

$$14) \quad U\{(\eta + \alpha)^2 + i \cdot \alpha^2\} + \frac{V}{3}\{(\eta + \alpha)^3 + i \cdot \alpha^3\} + i \cdot \alpha = 0$$

oder

$$14\text{a}) \quad \alpha^3 \cdot \frac{V}{3}(1 + i) + \alpha^2\{U(1 + i) + V \cdot \eta\} + \alpha\{i + V \cdot \eta^2 + 2U \cdot \eta\} = 0.$$

Untersuchung über das Verhältnis $\frac{h}{t}$.

Über das Verhältnis zwischen freier Länge h und Rammtiefe t herrscht bekanntlich die Meinung, daß es etwa gleich 1 sein soll. Inwieweit diese Erfahrungsregel durch die vorliegende Berechnungsweise bestätigt wird, möge an Hand der Gleichung 14a untersucht werden. Nach den Ausführungen des vorigen Abschnitts konnte man auf eine unbedingte Standsicherheit rechnen, wenn $\lambda \gtrless 1{,}5$ gewählt wurde, doch war auch schon bei $\lambda = 1{,}2$ eine sehr reichliche Standsicherheit vorhanden. Im vorliegenden Beispiel ist die Standsicherheit eine noch günstigere, wie weiter oben ausgeführt worden ist. Man kann daher annehmen, daß eine Bohlwand mit Hinterfüllung den praktischen Anforderungen bezüglich der Standsicherheit stets genügen muß, wenn $\lambda = 1{,}25$ oder $2\lambda = 2{,}50$ gewählt wird.

Es wird dann $t = \frac{\alpha + 2\lambda}{m}$ und $\frac{h}{t} = \frac{\eta}{\alpha + 2{,}50}$.

Zur Berechnung von α aus Gleichung 14a für $\lambda = 1{,}25$ sei auf die Ergebnisse des vorigen Beispiels hingewiesen, wonach der Wert α für den Bereich $\lambda \gtrless 1{,}5$ bis $\lambda = 1{,}2$ fast unveränderlich war. Um hieraus Nutzen zu ziehen, kann man in Gleichung 14a $U = V = 1$ setzen, als ob $\lambda \gtrless 1{,}5$ wäre. Die vereinfachte Gleichung lautet:

$$14\text{b}) \quad \frac{\alpha^3}{3}(1+i) + \alpha^2(1 + i + \eta) + \alpha(i + 2\eta + \eta^2) + \eta^2 + \tfrac{1}{3}\eta^3 = 0.$$

Aus vorstehender Gleichung hat Verfasser für eine Reihe von Werten für η zwischen 0 und 10 und für drei verschiedene Werte von i die Verhältnisse $\frac{\eta}{\alpha + 2{,}50}$ berechnet und in Tabelle VI zusammengestellt. Für i ergibt sich folgender Ausdruck: $i = \frac{k_2}{k_1} = \frac{-\frac{1}{2}\gamma_2 b \operatorname{tg}^2(45^0 + \frac{1}{2}\varrho_2)}{\frac{1}{2}\gamma_1 b \operatorname{tg}^2(45^0 - \frac{1}{2}\varrho_1)}$. Für die vorliegende Untersuchung ist der Einfachheit halber angenommen, daß zu beiden Seiten der Bohlwand der Erdboden von gleicher Beschaffenheit sei, daß also $\gamma_2 = \gamma_1$ und $\varrho_2 = \varrho_1 = \varrho$ zu setzen ist. Dann wird:

$$15) \quad \ldots \quad i = -\operatorname{tg}^4(45^0 + \tfrac{1}{2}\varrho).$$

Die Tabelle VI gibt zunächst an, daß das Verhältnis $\frac{h}{t}$ kein festes zu sein scheint, denn es nimmt zu, wenn η und ϱ größer werden. Was hier besonders interessiert, ist, ob $\frac{h}{t}$ mit wachsendem h größer oder kleiner wird. Da

$$\eta = h \cdot m = h \sqrt[4]{\frac{3E_0}{Ed^3}}$$

ist, so besteht zwischen η und h nur dann lineare Beziehung, wenn die Bohlwandstärke d konstant ist. Diese Voraussetzung entspricht aber nicht dem Sinne des vorliegenden Vergleichs. Vielmehr muß d als veränderlich angenommen werden, so zwar daß jedem Wert h ein bestimmter Wert d zugeordnet ist.

Tabelle VI.

η	$\varrho = 20^0$, $i = -4{,}15$			$\varrho = 30^0$, $i = -9{,}00$			$\varrho = 40^0$, $i = -21{,}2$			η
	α	$\alpha+2{,}50$	$\frac{h}{t}$	α	$\alpha+2{,}50$	$\frac{h}{t}$	α	$\alpha+2{,}50$	$\frac{h}{t}$	
0	0,00	2,50	0,000	0,00	2,50	0,000	0,00	2,50	0,000	0
1	0,52	3,02	0,332	0,18	2,68	0,373	0,068	2,568	0,390	1
2	2,10	4,60	0,435	0,84	3,34	0,600	0,335	2,835	0,706	2
3	3,78	6,28	0,478	1,72	4,22	0,710	0,77	3,27	0,919	3
4	5,45	7,95	0,504	2,64	5,14	0,780	1,28	3,78	1,060	4
5	7,14	9,64	0,519	3,58	6,08	0,822	1,83	4,33	1,153	5
6	8,71	11,21	0,535	4,49	6,99	0,859	2,36	4,86	1,235	6
7	10,50	13,00	0,539	5,43	7,93	0,883	2,95	5,45	1,284	7
8	12,10	14,60	0,548	6,36	8,86	0,903	3,50	6,00	1,333	8
9	13,80	16,30	0,552	7,30	9,80	0,919	4,07	6,57	1,370	9
10	15,40	17,90	0,559	8,22	10,72	0,933	4,67	7,17	1,394	10

Die Bohlwandstärke d ergibt sich aus der zulässigen Biegungsspannung σ und dem größten Biegungsmoment $M_{\max}$ zu $d = \sqrt{\frac{6\,M_{\max}}{b \cdot \sigma}}$. Liegt das größte Biegungsmoment in der Tiefe x' unter der Oberfläche, so ist, vorausgesetzt daß $x' < a$ bleibt,

$$16) \quad M_{\max} = \frac{k_1 (h + x')^3}{3} + \frac{k_2 x'^3}{3}$$

und aus der Bedingung $\frac{dM}{dx'} = 0$.

$$17) \quad x' = \frac{h}{\sqrt{\frac{-k_2}{k_1}} - 1} = \frac{h}{\sqrt{-i} - 1}.$$

Das Verhältnis $\frac{x'}{h} = c = \frac{1}{\sqrt{-i} - 1}$ ist also für jede Bodenart ein gleichbleibendes. Weitere Untersuchungen, die hier aus Raummangel fortbleiben müssen, haben ergeben, daß die Voraussetzung $x' < a$ oder $\varphi' = x' \cdot m = c \cdot \eta < \alpha$ zutrifft, wenn

bei $\varrho = 20^0$ (mit $c = 0{,}97$) $\eta > 1{,}80$

„ $\varrho = 30^0$ („ $c = 0{,}50$) $\eta > 2{,}35$ und

„ $\varrho = 40^0$ („ $c = 0{,}28$) $\eta > 3{,}45$ ist.

Da $x' = c \cdot h$ ist, so kann man $\boldsymbol{M}_{\max} = \boldsymbol{c}_1 \cdot \boldsymbol{h}^3$ schreiben. Dann wird

$$18) \quad d = \sqrt{\frac{6\,c_1 h^3}{b\sigma}},$$

$$19) \quad m = \frac{1}{h \sqrt[8]{h}} \sqrt[4]{\frac{3\,E_0}{E}} \cdot \sqrt[8]{\left(\frac{b\sigma}{6\,c_1}\right)^3} \text{ und}$$

$$20) \quad h \cdot m = \eta = \frac{1}{\sqrt[8]{h}} \cdot \sqrt[4]{\frac{3\,E_0}{E}} \cdot \sqrt[8]{\left(\frac{b\sigma}{6\,c_1}\right)^3}.$$

Gleichung 20 besagt, daß η mit wachsendem h kleiner wird. Für eine bestimmte Bodenart (ϱ konstant) wird also mit wachsender freier Höhe h das Verhältnis $\frac{h}{t}$ kleiner, d. h. t im Verhältnis zu h größer.

Die Veränderlichkeit des Verhältnisses $\frac{h}{t}$ mit wachsendem h ist aber sehr beschränkt, weil η nur mit der achten Wurzel aus h zunimmt. Das läßt sich am besten an einem Zahlenbeispiel erläutern:

Es sei $E = 108\,000$ kg/cm² (Kiefernholz), $\sigma = 80$ kg/cm², $\varrho = 30^0$ und $b = 100$ cm. Für $\varrho = 30^0$ wird $k_1 = 0{,}030$, $k_2 = -0{,}270$, $c_1 = 0{,}0225$.

Aus Gleichung 20 erhält man $\eta = 4{,}49 \frac{1}{\sqrt[8]{h}} \sqrt[4]{E_0}$.

Die Bohlwandstärke d liegt bei Holzbohlen zwischen $d = 4$ cm und $d = 30$ cm. Nach Gleichung 18 ist

$$h = \sqrt[3]{d^2 \frac{b\sigma}{6\,c_1}}, \text{ also für } d = 4 \text{ cm } h \text{ etwa} = 100 \text{ cm}$$

$$\text{und } „\ d = 30 „\ h\ „ = 400 „\ .$$

Als Grenzen, zwischen denen sich η bewegen kann, findet man

$$\eta_u = 2{,}12 \sqrt[4]{E_0} \text{ und } \eta_0 = 2{,}52 \sqrt[4]{E_0}.$$

Man kann also sagen, daß das Verhältnis $\frac{h}{t}$ sich bei gleichbleibender Bodenart und veränderlicher freier Höhe h nur wenig ändert.[3])

Für das Elastizitätsmaß des Erdbodens E_0 dürfte die untere Grenze bei $E_0 = 1{,}0$ kg/cm³ liegen. Es ist dann $\eta = 2{,}12$ bis 2,52. Weiter oben wurde gefunden, daß $x' < a$ ist, wenn bei $\varrho = 30^0$ $\eta > 2{,}35$ ist. Der Unterschied zwischen dem unteren Grenzwert von η 2,12 und 2,35 ist für η praktisch so unbedeutend, daß man den Satz aussprechen kann:

Das größte Biegungsmoment tritt bei der freistehenden, hinterfüllten Bohlwand in der Regel in der Tiefe $x' = \frac{h}{\sqrt{\frac{-k_2}{k_1}} - 1}$ auf.

Die Bohlwandstärke läßt sich daher auch ohne Kenntnis der Tiefe a und ohne Rücksicht auf die Rammtiefe t bestimmen.

Berechnung eines Beispiels.

Es sei $h = 300$ cm, $d = 24$ cm, $\varrho = 30^0$, $E = 108\,000$ kg/cm² und $E_0 = 100$ kg/cm³. Dann wird $m = \frac{1}{47{,}2 \text{ cm}}$ und $\eta = 6{,}35$; nimmt man $\lambda = 1{,}5$ an, so wird aus Gleichung 14b mit $i = \frac{k_2}{k_1} = -9{,}00$

$$\alpha^3 + 0{,}619\,\alpha^2 - 16{,}5\,\alpha - 47{,}1 = 0.$$

Man erhält $\alpha = 4{,}82$, $a = \frac{\alpha}{m} = 4{,}82 \cdot 47{,}2 = 228$ cm,

$$t = \frac{\alpha + 2\lambda}{m} = 7{,}82 \cdot 47{,}2 = 369 \text{ cm}.$$

Ferner wird $P' = -5680$ kg und $\mathfrak{M}' = 4{,}04$ tm,

$$\frac{2\,P' m}{b} = -2{,}41 \text{ kg/cm}^2 \text{ und } \frac{2\,\mathfrak{M}' m^2}{b} = 3{,}64 \text{ kg/cm}^2.$$

Die Ergebnisse der Berechnung sind in Abb. 6a bis f auf Bl. 26 im Atlas eingetragen, in denen die Bodendruckverteilung, die Momentenkurve und die Biegelinie dargestellt sind. Das größte Moment $M_{\max} = 6{,}075$ tm tritt in der Tiefe $x' = \frac{h}{2} = 150$ cm auf, die größte Biegungsspannung berechnet sich zu

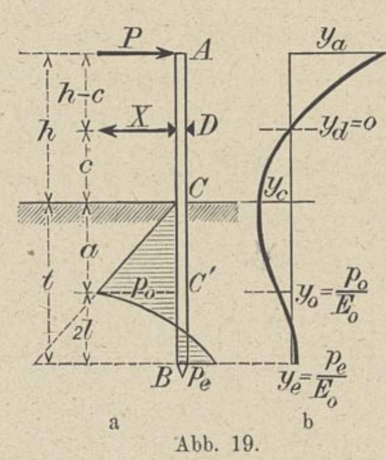
$$\sigma = \frac{607\,500}{100 \cdot 24^2} \cdot 6 = 63{,}3 \text{ kg/cm}^2.$$

Die Seitenverschiebungen in den Tiefen, die $> a$ sind, sind im Verhältnis zu denen des oberen Teils so winzig, daß das Bild der Biegelinie (Abb. 6c Bl. 26) etwa das eines im Punkt C' fest eingespannten Stabes ist.

3) Nach Tabelle VI kann für gewisse Bodenarten das Verhältnis $\frac{h}{t} = 1$ werden. Ein Widerspruch mit der eingangs erwähnten Erfahrungsregel besteht also nicht, zumal es sich nur um eine Faustregel handelt.

§ 7. Die abgestützte Bohlwand ohne Hinterfüllung unter der Wirkung einer Einzellast.

Die in Text-Abb. 19 dargestellte Bohlwand ist im Punkte D, der in der Höhe c über dem Erdboden liegt, gestützt und im oberen Endpunkt A durch die wagerechte Kraft P belastet. Aus der Text-Abb. 19b erkennt man, daß auf der Strecke CC' die Seitenverschiebung der Bohlwand einen Gegendruck des Erdbodens hervorrufen muß, dessen Richtung mit der Richtung der Kraft P übereinstimmt, so daß der Bodendruck nach den eingeführten Vorzeichen einen negativen Betrag liefern muß.



a b

Abb. 19.

Die Stützung bei D wird im allgemeinen nachgiebig sein; die Verschiebung von D wird man verhältnisgleich der Stützkraft X setzen können.

Zur Ermittlung der Tiefe a (Text-Abb. 19a) betrachte man das untere Ende $C'B$ wieder für sich und denke in C' die Kraft P' und das Moment $\mathfrak{M}'$ wirken. Es wird

$$21)\qquad P' = P + X + k \cdot a^2,$$

wobei k nach dem Hebelgesetz eine positive Zahl sein muß, und

$$22)\qquad \mathfrak{M}' = P(a+h) + X(a+c) + \frac{ka^3}{3}.$$

Führt man die Ausdrücke für P' und $\mathfrak{M}'$ in die bekannte Gleichung

$$p_0 = -\frac{2ka}{b} = \frac{2P'm}{b} \cdot U + \frac{2\mathfrak{M}'m^2}{b} \cdot V$$

oder

$$P' \cdot U + \mathfrak{M}'m \cdot V + k'\alpha = 0, \text{ worin } k' = \frac{k}{m^2}$$

ist, ein, so erhält man mit $c \cdot m = \gamma$

$$23)\quad X\{U + (\gamma+\alpha)V\} + P\{U + (\eta+\alpha)V\} + \\ + \frac{k'}{3}\{\alpha^3 \cdot V + 3\alpha^2 \cdot U + 3\alpha\} = 0$$

als die erste Bedingungsgleichung zur Bestimmung der beiden Unbekannten X und α.

Eine zweite Gleichung läßt sich aus der Bedingung ableiten, daß die Verschiebung des Punktes D in wagerechter Richtung, einschließlich der Nachgiebigkeit der Stütze infolge $-X$, gleich Null sein muß. Die Verschiebung des Punktes D setzt sich aus nachstehenden Teilen zusammen.

1. Verschiebung infolge Nachgiebigkeit der Stütze bei D: $\delta_1 = \triangle \cdot X$, wobei $\triangle$ die Verschiebung infolge $X = -1$ ist.

2. Verschiebung infolge Anfangsverschiebung des Punktes C' als oberer Endpunkt des Stabes $C'B$:

$$\delta_2 = y_0 = \frac{p_0}{E_0} = \frac{2P'm}{E_0 b} \cdot U + \frac{2\mathfrak{M}'m^2}{E_0 b} \cdot V,$$

oder

$$24)\quad \delta_2 = \frac{2m}{E_0 b}\Big[X\{U + (\gamma+\alpha)V\} + P\{U + (\eta+\alpha)V\} + \\ + \frac{k'}{3} \cdot \alpha^2(3U + \alpha V)\Big].$$

3. Verschiebung infolge Anfangsverdrehung des Punktes C' als oberer Endpunkt des Stabes $C'B$:

$$\delta_3 = (a+c)\operatorname{tg}\nu_0 = (\alpha+\gamma)\left(\frac{2P'm}{E_0 b} \cdot V + \frac{2\mathfrak{M}'m^2}{E_0 b} \cdot W\right),$$

oder

$$25)\quad \delta_3 = \frac{2m}{E_0 b}(\alpha+\gamma)\Big[X\{V + 2(\gamma+\alpha)W\} + P\{U + 2(\eta+\alpha)W\} + \\ + \frac{k'}{3}\alpha^2(3V + 2\alpha W)\Big].$$

4. Verschiebung von D als Teilpunkt des bei C' eingespannten Kragträgers $C'A$ infolge der Belastung durch P und X:

$$\delta_4 = \frac{P}{6EJ}(h+a)^3\left\{2 - 3\frac{h-c}{h+a} + \left(\frac{h-c}{h+a}\right)^3\right\} + \frac{X}{EJ}\frac{(c+a)^3}{3} + \\ + \frac{ka^4}{3EJ}\left(\frac{a}{5} + \frac{c}{4}\right)$$

oder

$$26)\quad \delta_4 = P(\eta+\alpha)^3 \cdot \frac{2m}{3E_0 b}\left\{2 - 3\frac{\eta-\gamma}{\eta+\alpha} + \left(\frac{\eta-\gamma}{\eta+\alpha}\right)^3\right\} + \\ + X \cdot \frac{4m}{3E_0 b}(\gamma+\alpha)^3 + \frac{k' \cdot 4m}{3E_0 b}\alpha^4\left(\frac{\alpha}{5} + \frac{\gamma}{4}\right).$$

Setzt man nun $\delta_1 + \delta_2 + \delta_3 + \delta_4 = 0$ zusammen und erweitert den ganzen Ausdruck mit $\frac{2m}{E_0 b}$, so erhält man als zweite Bedingungsgleichung für X und α:

$$27)\left\{\begin{aligned} & X\left\{\triangle \cdot \frac{E_0 b}{2m} + U + 2(\alpha+\gamma)V + 2(\alpha+\gamma)^2 W + \tfrac{2}{3}(\alpha+\gamma)^3\right\} + \\ & + P\Big\{U + 2(\alpha+\eta)V + 2(\alpha+\gamma)(\alpha+\eta)W + \\ & \qquad + \frac{(\eta+\alpha)^3}{3}\left(2 - 3\frac{\eta-\gamma}{\eta+\alpha} + \left(\frac{\eta-\gamma}{\eta+\alpha}\right)^3\right)\Big\} + \\ & + k'\alpha^2\Big\{U + \tfrac{1}{3}\alpha V + (\alpha+\gamma)(V + \tfrac{2}{3}\alpha W) + \\ & \qquad + \tfrac{2}{3}\alpha^2\left(\frac{\alpha}{5} + \frac{\gamma}{4}\right)\Big\} = 0. \end{aligned}\right.$$

Um X und α aus den Gleichungen 23 und 27 zu berechnen, empfiehlt es sich, diese nicht weiter zu entwickeln, sondern getrennt zu behandeln, indem man für eine Reihe von Versuchswerten für α sowohl die Werte X_1 aus Gleichung 23 als auch die Werte X_2 aus Gleichung 27 ausrechnet und den Schnittpunkt der Kurven für X_1 und X_2 zeichnerisch ermittelt (vgl. die zu den folgenden Beispielen gehörigen Abb. 23, 24, 25 und 26). Die Lösung der Aufgabe wird wesentlich erleichtert, wenn man für den Wert α zunächst eine Annäherung berechnen kann; daß dies möglich ist, wird weiter unten gezeigt werden.

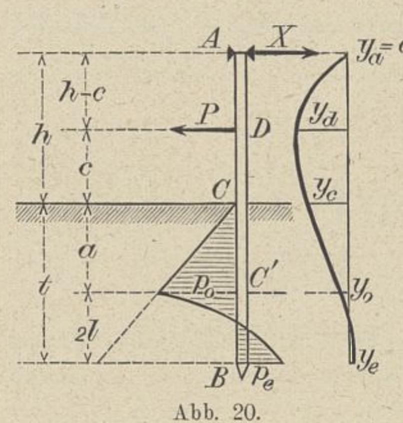


Abb. 20.

Vertauscht man X und P, so erhält man die in Text-Abb. 20 dargestellte Anordnung. Für diese lauten die beiden Bedingungsgleichungen:

$$23a)\quad X\{U + (\eta+\alpha)V\} + P\{U + (\gamma+\alpha)V\} + \\ + \frac{k'}{3}(\alpha^3 V + 3\alpha^2 U + 3\alpha) = 0.$$

$$27\text{a)}\quad \begin{cases} X\left\{\triangle\cdot\frac{E_0 b}{2m}+U+2(\alpha+\eta)V+2(\alpha+\eta)^2W+\frac{2}{3}(\alpha+\eta)^3\right\}+ \\ +P\{U+2(\alpha+\gamma)V+2(\alpha+\gamma)(\alpha+\eta)W+\frac{2}{3}(\alpha+\gamma)^3\}+ \\ +k'\alpha^2\left\{U+\frac{1}{3}\alpha V+(\alpha+\eta)(V+\frac{2}{3}\alpha W)+\right. \\ \qquad\qquad \left.+\frac{2}{3}\alpha^2\left(\frac{\alpha}{5}+\frac{\eta}{4}\right)\right\}=0. \end{cases}$$

Hierzu ist noch zu bemerken, daß dieses Mal k wieder einen negativen Zahlenwert haben muß, da der passive Erddruck der positiven Kraft P entgegengerichtet sein muß.

Starres Ende; Standsicherheit.

Während für das lange Bohlwandende ($\lambda \gtreqless 1{,}5$) außer der Vereinfachung, daß $U=V=W=1$ wird, keine Änderung der Behandlung eintritt, dürfte der Fall des starren Endes ($\lambda < 0{,}5$) etwas eingehender zu erörtern sein, zumal er für die Frage nach der Standsicherheit wichtig ist. Zugrunde gelegt sei die in Text-Abb. 19 gewählte Anordnung. Durch Aufstellung der Gleichgewichtsbedingungen und durch die Bedingung für die Seitenverschiebung des Punktes D erhält man wiederum die beiden Bedingungsgleichungen für X und α, die folgendermaßen lauten:

$$23\text{b)}\quad X(4l+3(a+c))+P(4l+3(a+h))+ka(a+2l)^2=0,$$

oder mit Einführung von $t=a+2l$:

$$23\text{c)}\quad X(2t+a+3c)+P(2t+a+3h)+kat^2=0$$

oder endlich mit Erweiterung durch m:

$$23\text{d)}\quad X(4\lambda+3(\alpha+\gamma))+P(4\lambda+3(\alpha+\eta))+k'\alpha(\alpha+2\lambda)^2=0,$$

ferner

$$27\text{b)}\quad \begin{cases} X\left\{\triangle\frac{2E_0 b}{m}+\frac{4}{\lambda}+6\frac{\alpha+\gamma}{\lambda^2}+3\frac{(\alpha+\gamma)^2}{\lambda^3}+\frac{8}{3}(\alpha+\gamma)^3\right\}+ \\ +P\left\{\frac{4}{\lambda}+3\cdot\frac{2\alpha+\eta+\gamma}{\lambda^2}+3\frac{(\alpha+\gamma)(\alpha+\eta)}{\lambda^3}+\right. \\ \qquad \left.+\frac{4}{3}(\eta+\alpha)^3\left(2-3\frac{\eta-\gamma}{\eta+\alpha}+\left(\frac{\eta-\gamma}{\eta+\alpha}\right)^3\right)\right\}+ \\ +k'\alpha^2\left\{\frac{4}{\lambda}+\frac{\alpha}{\lambda^2}+3\frac{\alpha+\gamma}{\lambda^2}+3\alpha\frac{(\alpha+\gamma)}{\lambda^3}+\frac{8}{3}\alpha^2\left(\frac{\alpha}{5}+\frac{\gamma}{4}\right)\right\}=0. \end{cases}$$

Aus Gleichung 23c folgt

$$28)\quad X=-P\cdot\frac{2t+a+3h}{2t+a+3c}-\frac{kat^2}{2t+a+3c}.$$

Da bei positivem P der Beiwert k auch positiv sein muß und da $2t+a+3c<2t+a+3h$ ist, so ergibt sich, daß X stets $>P$ und von umgekehrten Vorzeichen wie P ist.

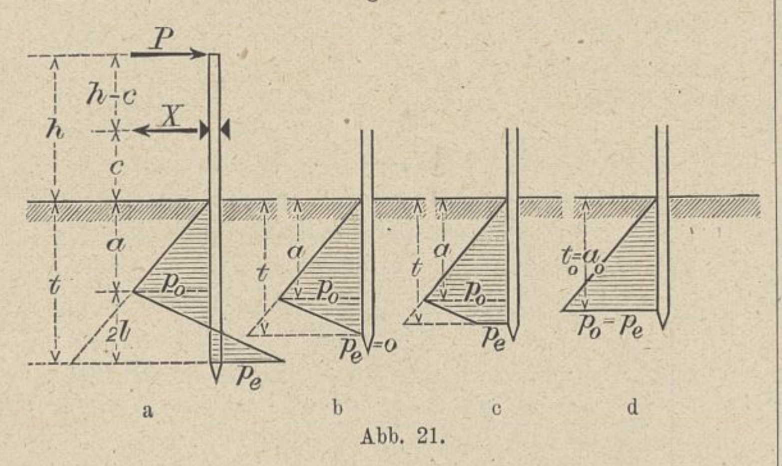


Abb. 21.

Die Standsicherheit der Bohlwand wird hier nicht dadurch gefährdet, daß der Wert $p_e=\frac{2kl}{b}$ werden kann, also bei Text-Abb. 21a die Spitze nach rechts ausweichen könnte. Vielmehr macht die Bodendruckverteilung bei kleiner werdender Rammtiefe t oder ähnlich bei wachsender Kraft P die in Text-Abb. 21a bis d gezeichneten Stufen durch; der in Text-Abb. 21d dargestellte Grenzfall $a=t$ und $\lambda=0$ muß erreicht werden, bevor das Gleichgewicht gestört wird. Von diesem Grenzfall muß man bei der Frage nach dem Standsicherheitsgrade ausgehen. In dem vorliegenden Falle hat es im Gegensatz zu der in den vorangegangenen Abschnitten vertretenen Auffassung nur Sinn, wenn man eine n-fache Sicherheit dann als vorhanden ansieht, wenn der Grenzfall $a=t$ bei der n-fachen Last $n\cdot P$ erreicht wird. Weiteres ist aus den nachstehenden Zahlenbeispielen zu ersehen.

Grenzfall $\lambda=0$.

Für den durch Text-Abb. 21d erläuterten Grenzfall $\lambda=0$ geht Gleichung 27b auf die Form von 23b über, so daß die Aufgabe statisch bestimmt wird; man findet aus 28

$$X_0=-P\cdot\frac{a_0+h}{a_0+c}-\frac{ka_0^3}{a_0+c}$$

oder, da $a_0=t_0$ ist

$$29)\quad X_0=-P\frac{h+t_0}{c+t_0}-\frac{kt_0^3}{t_0+c}.$$

Setzt man hier $X=-P-kt_0^2$ ein, so erhält man als Bestimmungsgleichung für die Rammtiefe t_0 im Grenzfall $\lambda=0$

$$30)\quad t_0^3+\tfrac{3}{2}c\cdot t_0^2-\tfrac{3}{2}\frac{P}{k}(h-c)=0.$$

Das nachfolgend berechnete Beispiel zeigt, daß bei wachsender Rammtiefe t die Werte X und a sich nur wenig ändern. Daraus folgt:

Die bei einfacher Last P unter der Annahme des Grenzfalles $\lambda=0$ berechneten Werte X_0 und $t_0=a$ stellen **Näherungswerte** für den tatsächlich vorliegenden Fall, in dem $\lambda>0$ ist, dar. Insbesondere kann der Näherungswert $t_0=a$ bei Auflösung der Gleichungen 23 und 27 zur Erleichterung der Auswahl der Probewerte verwendet werden.

Diese Schlußfolgerung gilt in vollem Maße auch für die Anordnung der Text-Abb. 20; die Gleichungen 29 und 30 sind nur entsprechend umzugestalten.

Zum Schluß sei noch darauf hingewiesen, daß es auch bei der gestützten Bohlwand möglich ist, die Wandstärke und die Rammtiefe ohne vorherige Kenntnis der genauen elastischen Einspannung annähernd richtig zu wählen. Hierdurch wird die praktische Behandlung wesentlich erleichtert.

Berechnung von Zahlenbeispielen.

Es sei eine Holzspundwand mit $d=24$ cm, $h=200$ cm und $c=80$ cm zu untersuchen. Die Kraft $P=6400$ kg/m ist so ermittelt, daß an der Stelle des gefährlichen Biegungsmoments (an der Stütze bei D, vgl. Text-Abb. 19) die Biegungsspannung $\sigma=80$ kg/cm² ist.

Es sei ferner $E=108000$ kg/cm² und $E_0=20$ kg/cm³, so daß bei $b=100$ cm

$$m=\sqrt[4]{\frac{3E_0}{Ed^3}}=\sqrt[4]{\frac{3\cdot 20}{108000\cdot 24^3}}=\frac{1}{72{,}4\text{ cm}}\text{ ist.}$$

Somit wird $\eta=h\cdot m=\frac{200}{72{,}4}=2{,}77$ und

$$\gamma=c\cdot m=\frac{80}{72{,}4}=1{,}11.$$

Ferner sei der Reibungswinkel der Erde $\varrho = 40^0$, ihr Einheitsgewicht $\gamma_e = 0{,}0018$ kg/cm³,

$$\text{also } k = \frac{0{,}0018 \cdot 100}{2} \cdot \mathrm{tg}^2\left(45^0 + \frac{40^0}{2}\right) = 0{,}414 \text{ kg/cm}^3$$

$$\text{und } k' = \frac{k}{m^2} = 0{,}414 \cdot 72{,}4^2 = \text{rd. } 2160 \text{ kg/cm.}$$

Näherungsberechnung von X und a.

Gleichung 30 lautet unter Einsetzung der Zahlenwerte mit $t_0 = a_0$

$$a_0^3 + 120 a_0^2 - 2\,780\,000 = 0;$$

hieraus folgt $a_0 =$ rd. 110 cm,

$$\alpha_0 = \frac{110}{72{,}4} = 1{,}52.$$

Als Näherungswert für X findet man

$$X_0 = -P - k a_0^2 = -11060 \text{ kg.}$$

Wird eine n-fache Sicherheit gegen den Grenzfall verlangt, so ist in Gleichung 30 statt $P = 6400$ kg die Last $P_1 = n \cdot 6400$ kg einzusetzen. Man erhält dann aus Gleichung 30 diejenige Rammtiefe t, die eine n-fache Sicherheit gewährleistet,

für $n =$	2	3	4	5	6	7	10
zu $t =$	145	170	190	206,5	121	234	268 cm.

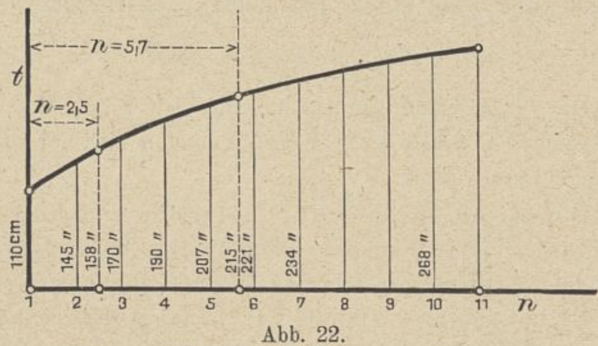


Abb. 22.
(Beziehung zwischen Standsicherheit n und Rammtiefe t.)

Die Kurve für t als Funktion von n ist in Text-Abb. 22 aufgezeichnet; bei gegebener Rammtiefe t läßt sich mittels dieser Kurve die Standsicherheit n bestimmen, wovon weiter unten Gebrauch gemacht werden wird.

In solchen Fällen der Praxis, wo es sich nur um rasche und ungefähre Bemessung der Bohlwand handelt, wäre die Aufgabe mit den vorstehenden Näherungsberechnungen bereits erledigt.

Beispiel für starres Ende (Abb. 7 Bl. 26).

Es sei $\lambda = 0{,}4$; die Stütze bei D sei vollkommen unnachgiebig angenommen, also $\triangle = 0$ gesetzt. Man erhält für die Versuchswerte

$\alpha =$	1,3	1,4	1,5	1,6
aus Gleichung 23d $X_1 =$	−11400	−11500	−11600	−11700 kg
und aus Gleichung 27b $X_2 =$	−11440	−11490	−11540	−11590 „

Die in Text-Abb. 23 aufgezeichneten Kurven für X_1 und X_2 liefern durch ihren Schnittpunkt das Ergebnis $X = -11480$ kg und $\alpha = 1{,}38$, also

$$a = 1{,}38 \cdot 72{,}4 = \text{rd. } 100 \text{ cm}$$

$$\text{und } t = a + \frac{2\lambda}{m} = 100 + 2 \cdot 0{,}4 \cdot 72{,}4 = 158 \text{ cm.}$$

Dieser Rammtiefe entspricht nach Text-Abb. 22 eine $n = 2{,}5$-fache Standsicherheit.

Die Bodendruckverteilung, Momentenkurve und Biegelinie sind in Abb. 7a bis c Bl. 26 dargestellt. Auf den Endteil $C'B$ wirkt im Punkt C'

$$P' = [P + X + k \cdot a^2 =]\, 6400 - 11480 + 0{,}414 \cdot 100^2 = -940 \text{ kg}$$

und

$$\mathfrak{M}' = 6400 \cdot 300 - 11480 \cdot 180 + \frac{4140}{3} \cdot 100 = -8400 \text{ kg/cm.}$$

Mit $l = \frac{\lambda}{m} = 29$ cm wird

$$p_0 = \frac{2P'}{bl} + \frac{3\mathfrak{M}'}{2bl^2} = -\frac{2ka}{b} = -0{,}83 \text{ kg/cm}^2,$$

$$p_e = \frac{P'}{bl} - \frac{3\mathfrak{M}'}{2bl^2} = +0{,}48 \text{ kg/cm}^2.$$

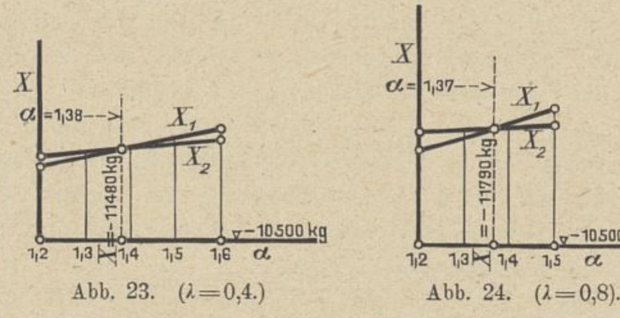


Abb. 23. ($\lambda = 0{,}4$.) Abb. 24. ($\lambda = 0{,}8$).

Beispiel für kurzes, biegsames Ende (Abb. 8 Bl. 26).

Es sei $\lambda = 0{,}8$ gewählt, also $l = 0{,}8 \cdot 72{,}4 =$ rd. 58 cm; $\triangle$ sei wiederum 0.

Man erhält für

$\alpha =$	1,2	1,3	1,4	1,5
aus Gleichung 23 $X_1 =$	−11540	−11680	−11830	−12000 kg
und aus Gleichung 27 $X_2 =$	−11730	−11770	−11800	−11830 „

hieraus mittels der Text-Abb. 24 das Ergebnis

$$X = -11790 \text{ kg und } \alpha = 1{,}37,$$

also $a = 1{,}37 \cdot 72{,}4 =$ rd. 99 cm und $t = a + 2l =$ rd. 215 cm.

Die Standsicherheit ist nach Text-Abb. 22 etwa 5,7-fach.

In Abb. 8a bis e Bl. 26 sind die Bodendruck- und Momentenkurven sowie die Biegelinie veranschaulicht.

Beispiel für langes Ende (Abb. 9 Bl. 26).

Für $\lambda \geqq 1{,}5$ wird $U = V = W = 1$. Es sei zunächst $\triangle = 0$.

Man erhält für

$\alpha =$	1,2	1,3	1,4	1,5
aus Gleichung 23 $X_1 =$	−11720	−11890	−12080	−12270 kg
und aus Gleichung 27 $X_2 =$	−11900	−11900	−11920	−11930 „

und findet mittels Text-Abb. 25

$$X = -11900 \text{ kg und } \alpha = 1{,}30,$$

also $a = 1{,}30 \cdot 72{,}4 = 94$ cm und

$$t = a + 2l = 94 + 2 \cdot 1{,}5 \cdot 72{,}4 = 311 \text{ cm.}$$

Die Standsicherheit ist für diese Rammtiefe so hoch, daß Text-Abb. 22 nicht mehr ausreicht.

Abb. 25.
($\lambda = 1{,}5$, Stützung nicht nachgiebig.)

Die Kurven für den Bodendruck, die Momente und die Seitenverschiebungen sind in Abb. 9a bis e Blatt 26 dargestellt.

Bei dieser Gelegenheit sei auch der Einfluß einer Nachgiebigkeit der Stütze untersucht.

Die Stütze sei ein Eisenanker von 10 cm² Querschnitt und 300 cm Länge, der am Ende starr befestigt ist. Dann

$$\text{wird } \triangle = \frac{300 \cdot 1}{2 \cdot 10^6 \cdot 10} = 1{,}5 \cdot 10^{-5}\,\text{cm}$$

und

$$\triangle \cdot \frac{E_0 b}{2m} = 1{,}5 \cdot 10^{-5} \cdot \frac{20 \cdot 100}{2} \cdot 72{,}4 = 1{,}085\ \text{kg/cm}.$$

Man erhält dann

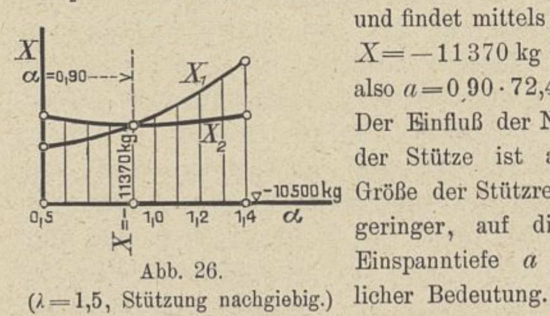
für $\alpha =$ 0,5 1,0 1,2 1,4

aus Gleichung 23

$X_1 =$ −11450 −11370 −11390 −11480 kg

und aus Gleichung 27

$X_2 =$ −11100 −11440 −11720 −12080 „



und findet mittels Text-Abb. 26 $X = -11370$ kg und $\alpha = 0{,}90$, also $a = 0{,}90 \cdot 72{,}4 =$ rd. 65 cm. Der Einfluß der Nachgiebigkeit der Stütze ist also auf die Größe der Stützreaktion X von geringer, auf die Größe der Einspanntiefe a von erheblicher Bedeutung.

Abb. 26.
($\lambda = 1{,}5$, Stützung nachgiebig.)

Tabelle VII. Zusammenstellung.

1	2	3	4	5	6	7	8
λ	X kg	α	a cm	t cm	p_0 kg/cm²	p_e kg/cm²	n
0	−11060	1,52	110	110	−0,91	−0,91	1
0,4	−11480	1,38	100	158	−0,83	+0,48	2,5
0,8	−11790	1,37	99	215	−0,82	+0,46	5,7
1,5	−11900	1,30	94	311	−0,79	+0,04	> 10
∞	−11900	1,30	94	∞	−0,79	0	∞

Die Zusammenstellung der hauptsächlichsten Berechnungsergebnisse (Tabelle VII) für den Fall $\triangle = 0$ (unnachgiebige Stützung bei D), beweist, daß 1) die oben gemachte Annahme, daß die für $\lambda = 0$ berechneten Werte von X und a als Näherungwerte brauchbar sind, zutrifft, 2) mit wachsendem t die Einspanntiefe a abnimmt, 3) die Bohlwand auch dann eine ausreichende Standsicherheit haben kann, wenn $\lambda < 1{,}5$ ist.

§ 8. Die abgestützte Bohlwand mit Hinterfüllung.

Bezüglich der Annahmen über den aktiven Erddruck wird auf das in § 6 Gesagte verwiesen. Für die folgenden

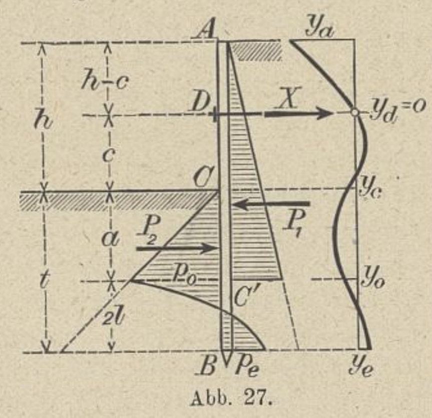


Abb. 27.

Formeln wird die in Text-Abb. 27 veranschaulichte Annahme zugrunde gelegt, bei der der aktive Erddruck bis zur Tiefe a fortgesetzt gedacht ist. Wiederholt sei, daß eine andere Annahme über die Wirkungsweise des aktiven Erddrucks, welcher Art sie auch sei, die Aufgabe in keiner Weise erschwert. Setzt man den aktiven Erddruck $P_1 = k_1 \cdot (h + a)^2 = k_1'(\eta + \alpha)^2$ und den passiven Erddruck

$$P_2 = k_2 \cdot a^2 = k_2' \cdot \alpha^2, \text{ also } k_1' = \frac{k_1}{m^2} \text{ und } k_2' = \frac{k_2}{m^2},$$

so lauten die beiden Bedingungsgleichungen für die Unbekannten X und α:

$$31)\quad X_1\{U + (\alpha+\gamma)V\} + k_1'(\eta+\alpha)^2\{U + \tfrac{1}{3}(\eta+\alpha)V\} + k_2'\{\alpha + U\alpha^2 + \tfrac{1}{3}V\alpha^3\} = 0$$

und

$$32\left\{\begin{aligned} & X_2\Big\{\triangle \cdot \frac{E_0 b}{2m} + U + 2(\alpha+\gamma)V + 2(\alpha+\gamma)^2 W + \tfrac{2}{3}(\alpha+\gamma)^3\Big\} \\ & \quad + k_1'(\eta+\alpha)^2\Big\{U + \tfrac{1}{3}(\eta+\alpha)V + (\alpha+\gamma)V \\ & + \tfrac{2}{3}(\alpha+\gamma)(\eta+\alpha)W + 2(\eta+\alpha)^3\Big(\tfrac{4}{5} - \frac{\eta-\gamma}{\eta+\alpha} \\ & + \tfrac{1}{5}\Big(\frac{\eta-\gamma}{\eta+\alpha}\Big)^5\Big\} + k_2'\alpha^2\Big\{U + \tfrac{1}{3}\alpha \cdot V + (\alpha+\gamma)V \\ & + \tfrac{2}{3}\alpha(\alpha+\gamma)W + \tfrac{1}{6}\alpha^2(\tfrac{4}{5}\alpha+\gamma\Big\} = 0 \end{aligned}\right.$$

Starres Ende.

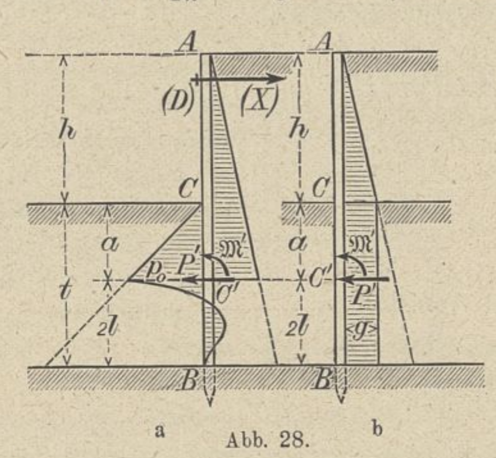
Für $\lambda < 0{,}5$ nehmen Gleichung 31 und 32 folgende Form an:

$$31\text{a})\quad X_1\{4l + 3(a+c)\} + k_1(h+a)^2\{4l + 3(a+h)\} + k_2 a(a+2l)^2 = 0 \text{ oder}$$

$$31\text{b})\quad X_1\{4\lambda + 3(\alpha+\gamma)\} + k_1'(\eta+\alpha)^2\{4\lambda + 3(\alpha+\eta)\} + k_2'\alpha(\alpha+2\lambda)^2 = 0$$

und

$$32\text{a})\left\{\begin{aligned} & X_2\Big\{\triangle\frac{E_0 b}{2m} + \frac{1}{\lambda} + \tfrac{3}{2}\frac{\alpha+\gamma}{\lambda^2} + \tfrac{3}{4}\frac{(\alpha+\gamma)^2}{\gamma^3} + \tfrac{2}{3}(\alpha+\gamma)^3\Big\} \\ & \quad + k_1'(\eta+\alpha)^2\Big\{\frac{1}{\lambda} + \frac{\eta+\alpha}{4\lambda^2} + \tfrac{3}{4}\frac{\alpha+\gamma}{\lambda^2} \\ & \quad + \frac{(\alpha+\gamma)(\eta+\alpha)}{4\lambda^3} + \tfrac{1}{6}(\eta+\alpha)^3\Big\{\tfrac{4}{5} - \frac{\eta-\gamma}{\eta+\alpha} \\ & \quad + \tfrac{1}{5}\Big(\frac{\eta-\gamma}{\eta+\alpha}\Big)^5\Big\} + k_2'\alpha^2\Big\{\frac{1}{\lambda} + \frac{\alpha}{4\lambda^2} + \tfrac{3}{4}\frac{\alpha+\gamma}{\lambda^2} \\ & \quad + \frac{\alpha(\alpha+\gamma)}{4\lambda^3} + \frac{\alpha^2}{6}(\tfrac{4}{5}\alpha+\gamma)\Big\} = 0 \end{aligned}\right.$$



a Abb. 28. b

§ 9. Schlußbemerkungen.

a) Feste Einspannung der Bohlwandspitze.

Ist die Bohlwandspitze vom Punkte B ab in einer sehr festen Bodenschicht eingespannt, wie Text-Abb. 28 darstellt, so tritt überhaupt keine Änderung in der Behandlung gegenüber dem Fall der freien Endigung bei B ein, wenn $\lambda \gtrless 1{,}5$ ist, weil dann die Einspannung des einen Endes (B) auf die

Bewegungen des andern Endes (C') ohne Einfluß bleibt. Auch der Fall $\lambda < 0{,}5$ ($C'B$ als starrer Stab) bedarf keiner Erörterung, weil dann, wie man leicht einsehen kann, $a = 0$ sein muß.

Die Betrachtung ist daher auf das Gebiet des kurzen Stabes zu beschränken, wo $1{,}5 > \lambda > 0{,}5$ ist.

Aus den Ableitungen des § 4 ergibt sich, daß ein elastisch gelagerter, einseitig eingespannter Stab $C'B$, der, wie in Text-Abb. 28a durch eine Endlast P' und ein Drehmoment $\mathfrak{M}'$ beansprucht wird, an der Spitze den Bodendruck

$$p_0 = \frac{2\,P'm}{b} \cdot U' + \frac{2\,\mathfrak{M}'m^2}{b} \cdot V',$$

und wenn gemäß Text-Abb. 28b noch die gleichmäßig verteilte Last g hinzukommt, den Bodendruck

$$p_0 = g\left(1 - \frac{4\,\mathfrak{C}_{2\lambda}}{N'}\right) + \frac{2\,P'm}{b} \cdot U' + \frac{2\,\mathfrak{M}'m^2}{b} \cdot V'$$

ausübt. Setzt man $p_0 = \frac{-2\,ka}{b}$, so erhält man die Bildungsgleichung zur Berechnung der Tiefe a. Ist noch eine Stützkraft X als zweite Unbekannte zu bestimmen, so wird wie oben eine zweite Gleichung aus der Bedingung für die Seitenverschiebung des Stützpunktes D aufgestellt. Die verschiedenen Aufgaben und ihre Lösungen sind denen, die bei der Bohlwand mit freiem unteren Ende gezeigt worden sind, im einzelnen so ähnlich, daß hier davon abgesehen werden kann, darauf weiter einzugehen.

b) Veränderlichkeit der Elastizitätszahl E_0.

Es besteht eine große Wahrscheinlichkeit, daß die Elastizitätszahl E_0 für den Erdboden mit der Tiefe nicht unveränderlich ist, sondern zunimmt, und es dürfte von Wert sein, sich darüber klar zu werden, welchen Einfluß die Zunahme von E_0 mit der Tiefe auf unsere oben entwickelten Verfahren haben kann. In Text-Abb. 29 stellt die ausgezogene Bodendruckverteilung das Ergebnis für einen kleineren und die gestrichelte Kurve bei der gleichen Rammtiefe t für einen größeren Wert von E_0 dar, wobei in beiden Fällen E_0 auf der Strecke BC' bzw. BC'' unveränderlich ist. Nimmt nun E_0 von C' bis B allmählich zu, so wird die Verteilung des Bodendrucks nach einer Kurve anzunehmen sein, die zwischen beiden liegt. Das besagt folgendes:

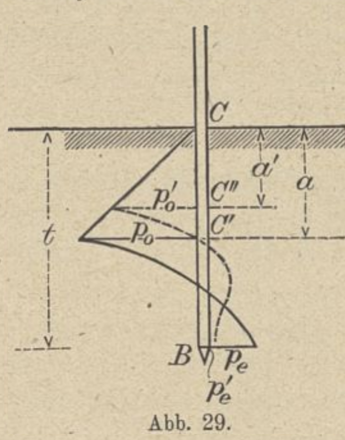


Abb. 29.

Wird der in der Tiefe a auftretende kleinere Wert von E_0 der Berechnung zugrunde gelegt, so ist der wahre Wert von a kleiner als der berechnete, ebenso ist der wahre Bodendruck p_e an der Spitze kleiner, da sich infolge des zunehmenden Wertes von E_0 die Spitze mehr wie bei einer festen Einspannung verhält, ferner wird die Standsicherheit eine größere. Der Fehler, den man durch Annahme eines zu kleinen, aber gleichmäßigen Wertes von E_0 begeht, bewegt sich demnach auf der sicheren Seite. Es kommt hinzu, daß der Wert $\lambda = l\sqrt[4]{\frac{E_0 b}{4\,EJ}}$ sich nur mit der vierten Wurzel aus E_0 ändert; eine geringfügige Zunahme von E_0 auf der Strecke $C'B$ wird die Rechnung daher fast gar nicht beeinflussen.

c) Vergleich mit der Theorie von Mohr-Engels.

Es erscheint angebracht, zum Schluß die vorliegende Theorie mit den Ergebnissen der bereits bestehenden Theorien über die Berechnung von Bohlwänden in Vergleich zu setzen. Der Leser wird in erster Linie einen Vergleich mit der Theorie Mohr-Engels erwarten, die im Jahrgang 1903, S. 273 u. 649 des Zentralblattes der Bauverwaltung veröffentlicht worden ist. Auf eine eingehende Gegenüberstellung glaubt Verfasser allerdings, sowohl aus Mangel an Raum als wegen ungenügender Bekanntschaft mit den näheren Umständen der Engelsschen Versuche, verzichten zu müssen. Inwiefern die Theorie von Mohr Widersprüche enthält, wird der Leser an Hand der vorliegenden Abhandlung selbst leicht beurteilen können. Wenn die Theorie von Mohr auch nicht der eingangs erhobenen elementaren Forderung genügt, daß sie die physikalischen Eigenschaften der Bohle und der Erde berücksichtigt, so soll doch anderseits auch nicht verschwiegen werden, daß die Bodendruckverteilung und die Standsicherheit der Bohlwand in vielen Fällen auch ohne Rücksicht auf die Elastizität der Bohle und der Erde festgestellt werden kann. Dies geschieht nämlich, wenn $\lambda < 0{,}5$ ist, das elastisch eingespannte untere Bohlwandende also als starr angesehen werden kann. Allerdings läßt sich nur mittels des Wertes m, in dem E_0, d und E enthalten sind nachprüfen, ob die Grenze $\lambda = 0{,}5$ erreicht oder unterschritten wird. Hält man ferner die Text-Abb. 30a u. b gegenüber, so erkennt man, daß die Krümmung der Bohlwand im unteren Teil nach der Mohrschen Theorie (Abb. 30a) dem Wesen einer Einspannung widerspricht, bei der sich die Spitze stets der Lotrechten entgegen krümmen muß; im Grenzfalle ($\lambda < 0{,}5$) ist die Spitze eine Gerade. Der Befund der Versuche von Engels, daß eine Bewegung des unteren Stabendes eintreten soll, wenn der hydrostatische Zustand überschritten wird, ist mit unseren bisherigen Ansichten von der Wirkung des passiven Erdwiderstandes nicht vereinbar; sollte er sich als richtig bestätigen, so wäre in der vorliegenden Theorie der Beiwert k bzw. k_2 mit einem niedrigeren Werte einzusetzen. Vielleicht handelte es sich aber auch um elastische Bewegungen der Stabspitze, da ja beim Überschreiten der Grenze $\lambda = 1{,}5$ der Bodendruck p_e wächst. Vorläufig empfiehlt es sich, das Ergebnis weiterer Versuche abzuwarten, und der Zweck der vorliegenden Untersuchungen dürfte voll erfüllt sein, wenn sie zu solchen anregen würden.

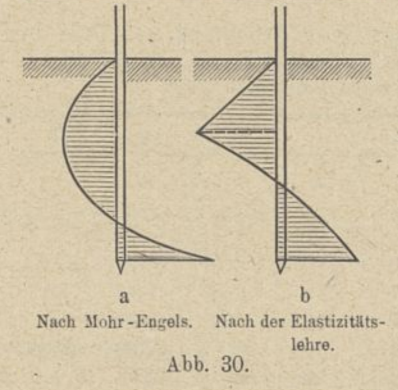


Abb. 30.

Über Sohlenwasserdruck bei Staumauern mit entwässerter Gründungsfläche.

Vom Regierungsbaumeister Link, Baudirektor des Ruhrtalsperrenvereins in Essen.

Unter Sohlenwasserdruck soll im folgenden die Kraft verstanden werden, die in früheren Veröffentlichungen über Staumauern „Auftrieb“ oder „Unterdruck“ genannt worden ist. Wir werden im folgenden erkennen, daß man unterscheiden muß einerseits zwischen dem im Mauerinnern herrschenden Wasserdruck und anderseits demjenigen, der sich in der Fuge zwischen dem Mauerwerk und dem Felsboden, der Gründungsfläche, einstellt. Man tut also gut, bei der Benennung der inneren auf die Mauer wirkenden Wasserdrücke die Stelle ihres Angriffs kenntlich zu machen, um so mehr als keine der beiden bisher gebräuchlichen allgemeineren Bezeichnungen ganz einwandfrei ist. Gegen „Auftrieb“ wird geltend gemacht, daß man in der Physik hierunter die algebraische Summe aller lotrechten auf einen eingetauchten Körper wirkenden Wasserdrücke verstehe, während man bei der Staumauerberechnung den nach oben gerichteten Wasserdruck für sich allein Auftrieb nennt, ohne Abzug des auf der Mauerrückwand ruhenden Gewichts der Wasserauflast. Gegen die Bezeichnung „Unterdruck“ wird mit Recht eingewandt, daß sie bereits für einen anderen physikalischen Begriff in Anspruch genommen, also nicht mehr eindeutig sei; sie bezeichne das Gegenteil von „Überdruck“, also ein Vakuum, wofür man im Schiffbau auch den Ausdruck „Sog“ gebraucht. Regierungsbaumeister Lange hat die hier in Rede stehenden Kräfte in seiner Veröffentlichung „Die hydrostatischen Druckverhältnisse bei massiven Talsperren“ (Leipzig 1916 bei Greßner und Schramm) „hydrostatischer Sohlendruck“ und „Innenwasserdruck“ genannt. Beide Bezeichnungen sind richtig und anschaulich, nur ist erstere zum Teil fremdsprachlich und zu lang. M. E. könnten „Sohlenwasserdruck“ und „Innenwasserdruck“ statt oder neben Auftrieb und Unterdruck sich als brauchbare Benennungen erweisen, da der Zusatz hydrostatisch im Gegensatz zu hydraulisch hier entbehrlich ist. Den wagerechten Druck auf die wasserseitige Wand der Staumauer würde man dann in Fällen, wo die verschiedenen angreifenden Kräfte des Wassers auseinander gehalten werden müssen, mit „Stauwasserdruck“ bezeichnen können.

Unsere ersten genaueren Kenntnisse über die Größe des Sohlenwasserdrucks bei Staumauern rühren von den Beobachtungen an der Östertalsperre her. Den Einbau der Meßvorrichtungen hatte noch Intze angeordnet, die Ausführung und Durchführung der ersten Messungen erfolgte durch Regierungsbaumeister Schäfer. Seine Veröffentlichung der Ergebnisse in der Zeitschrift für Bauwesen 1913 S. 101 ist grundlegend für die Kenntnis des Sohlenwasserdrucks bei Staumauern mit nicht entwässerter Gründungsfläche, wie sie bis 1906 ausschließlich gebaut worden waren. Die Meßvorrichtung an der Östertalsperre, die ziemlich unverändert auch bei den später errichteten Talsperren beibehalten wurde, ist folgende: Seitlich von den Rohrstollen der Sperrmauer sind senkrechte 60 mm weite schmiedeeiserne Rohre eingemauert, die sich vermittels eines erweiterten Flansches oder eines gußeisernen umgestülpten Tellers ohne Mörtelzwischenlage auf den Felsboden aufsetzen (Abb. 1). In Höhe des Stollens sind die Rohre rechtwinklig umgebogen und münden wagerecht in der Stollenwand, wo sie mit Blindflanschen verschlossen sind. In diese sind Ansatzstücke eingepaßt, auf die Druckmesser aufgeschraubt werden können. An ihnen kann man den in dem Rohr über dem Ansatzstück vorhandenen Wasserdruck ablesen und durch Hinzurechnung des bekannten Höhenunterschieds zwischen Rohrunterkante und Druckmesser den gesamten Sohlenwasserdruck feststellen. Bei der Möhnetalsperre sind die verschiedenen Meßrohre in zwei nebeneinanderliegenden Nischen zusammengeführt, so daß man die Ablesungen jeder Gruppe an einer Stelle vornehmen kann.

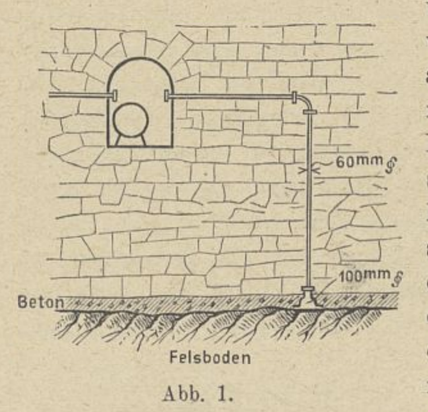


Abb. 1.

Bei der Östertalsperre waren die Beobachtungsrohre nicht gleichlaufend zur Stollenwand aufgestellt, sondern an besonders rissigen und klüftigen Stellen des Felsbodens, wo das Eintreten von starkem Wasserdruck am wahrscheinlichsten war. Die Staumauer ist nur 4 bis 4,5 m tief unter Talsohle gegründet, und der Felsboden erwies sich als ziemlich quellenreich, wodurch das Auftreten von Druckwasser begünstigt wurde. Seitdem sind alle in Preußen erbauten Staumauern mit der beschriebenen Meßvorrichtung ausgestattet wor-

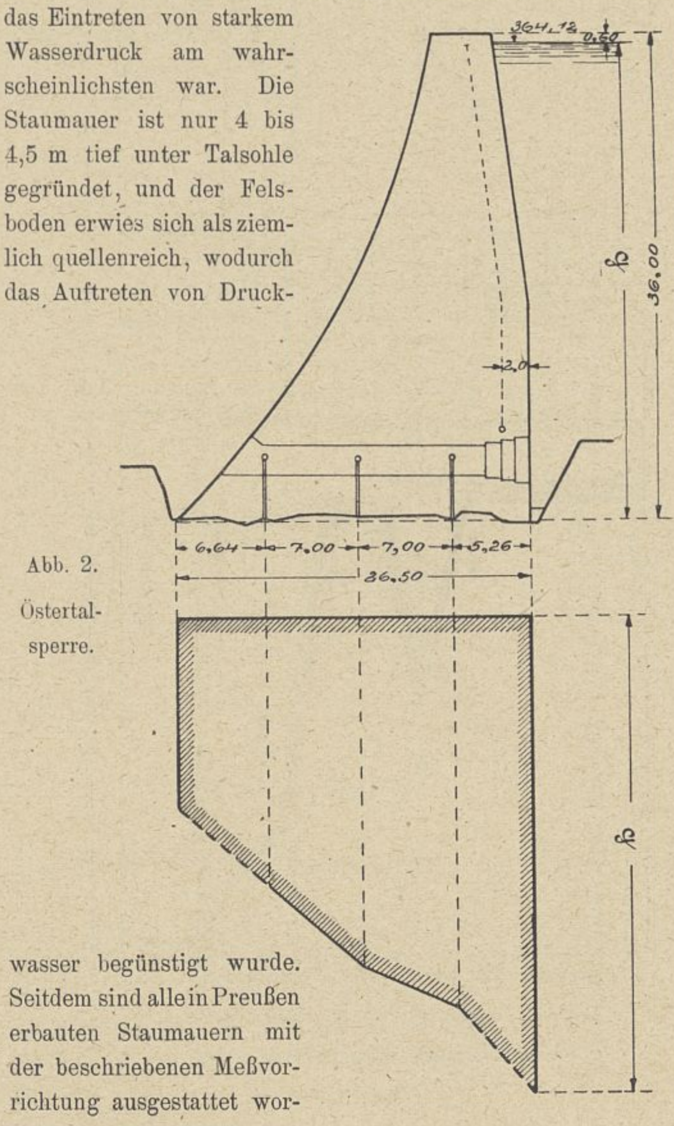


Abb. 2. Östertalsperre.

den, jedoch ist dem Verfasser kein Fall bekannt, wo die an der Östertalsperre festgestellten Drücke überholt worden wären. Diese dürfen daher als aus ungünstigen Verhältnissen ermittelte Höchstwerte angesehen werden und haben für die Berechnung von Staumauern mit nicht entwässerter Sohle bleibende Bedeutung.

Das ungünstigste Druckprofil der Östertalsperre ist in Abb. 2 wiedergegeben (nach Schäfer; vgl. Abb. 1 auf Blatt 13 im Atlas der Zeitschrift für Bauwesen 1913). Am wasserseitigen Mauerfuß wird ein Druck gleich dem der vollen Wassersäule h angenommen; er nimmt dann gemäß den Ergebnissen der Druckmessungen nach der Luftseite ab und beträgt, wenn man die durch die beiden vordersten Meßrohre gegebene Drucklinie geradlinig fortsetzt, an der Vorderkante noch 0,43 h. Der größte Druck zeigte sich bei der ersten bordvollen Füllung des Staubeckens, worauf er in den folgenden Jahren etwas zurückging. Für die Berechnung von Mauern mit nicht entwässerter Gründungsfläche kann man demnach als Darstellung des Sohlenwasserdrucks ein Trapez annehmen, das an der Wasserseite eine Druckhöhe gleich h und an der Luftseite gleich 0,43 h aufweist, oder 0,5 h, wenn man abrunden und noch etwas sicherer gehen will. Dieses auch von Schäfer für die Anwendung empfohlene Drucktrapez hat Verfasser 1908 der Berechnung der Staumauer im Listertal zugrunde gelegt, da damals die Messungsergebnisse an der 1907 vollendeten Östertalsperre schon vorlagen.

Auf die wichtige Frage, ob dieser Druck unter der ganzen Grundfläche der Mauer oder nur unter einem Teil derselben anzunehmen ist, werden wir noch zurückkommen.

Nachdem das Auftreten von Sohlenwasserdruck mit Bestimmtheit nachgewiesen war, lag es nahe, daß die Ingenieure auf Mittel sannen, diese bisher bei der Berechnung der Staumauern meist nicht berücksichtigte Kraft nach Möglichkeit herabzumindern, und so sind drei neuere deutsche Sperrmauern, die der Möhne-, der Lister- und der Waldecker Talsperre, mit einer Sohlenentwässerung ausgestattet worden. Lange glaubt, daß die Waldecker Staumauer die erste gewesen sei, bei der man planmäßig ein Netz von Entwässe-

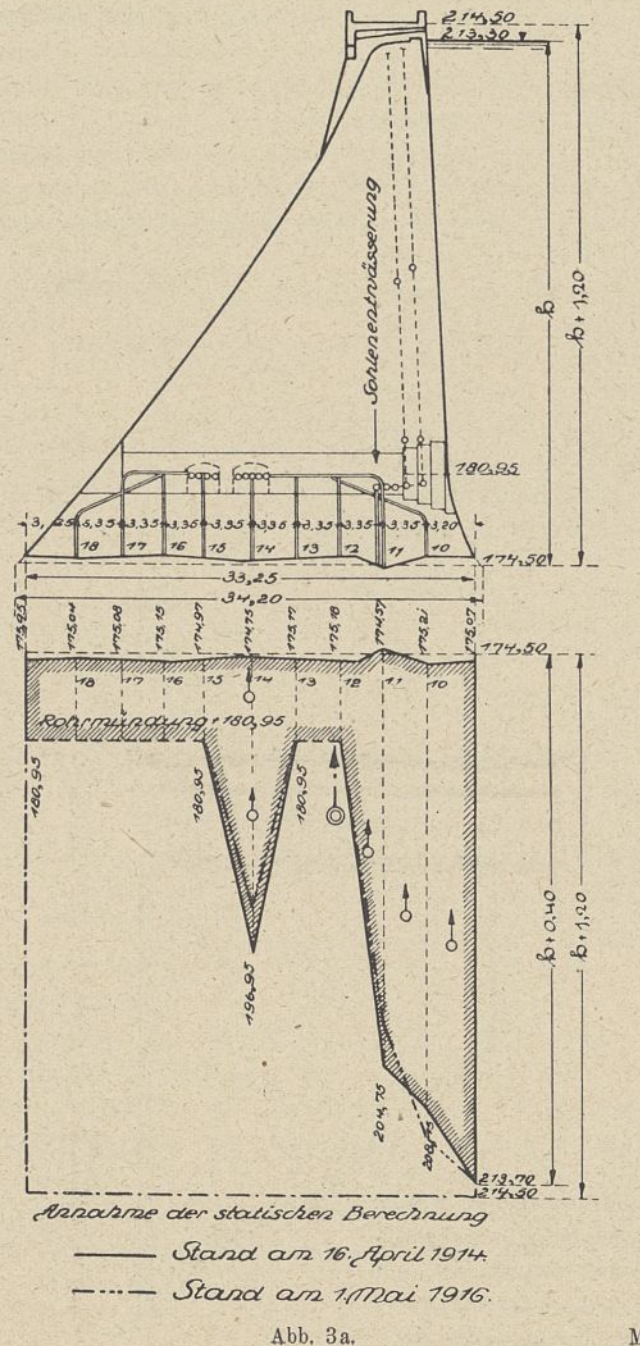


Abb. 3a. Möhnetalsperre. Abb. 3b.

rungssträngen über die ganze Sohle verteilt habe. Zutreffend ist, daß man bei dieser Sperrmauer in der Anordnung von Entwässerungsleitungen der Sohle am weitesten gegangen ist, jedoch findet sich der Gedanke der Sohlenentwässerung bei Staumauern selbst erstmalig in des Verfassers „Allgemeinen Entwurf der Möhnetalsperre“ vom April 1906, der in Heft I des Jahrgangs 1906 der „Zeitschrift für die gesamte Wasserwirtschaft“ veröffentlicht worden ist.

Die dort dargestellte Bauweise der Entwässerung ist später unverändert zur Ausführung gekommen. Sie besteht aus einer mit der Längsrichtung der Mauer gleichlaufenden Reihe senkrechter Dränrohre von 60 mm l.W., die in Abständen von 2,60 m und in einer Entfernung von 7 m (Möhnetalsperre) oder 10 m (Listertalsperre) vom wasserseitigen Mauerfuß unmittelbar auf den Felsboden aufgesetzt sind (Abb. 3 u. 4). An den Hängen wird entsprechend der abnehmenden Mauerbreite der Abstand von der wasserseitigen Fußkante kleiner und beträgt rund ein Drittel der jeweiligen Sohlenbreite. Die Dränrohre münden in Entwässerungsleitungen aus glasierten 150 mm weiten Tonrohren, die zu Nischen in den Wandungen der Rohrstollen führen, von denen das Sickerwasser zugleich mit dem der Mauerentwässerung nach dem Sturzbett am Fuß der Mauer abgeführt wird. Die Mündungsrohre sind offen und unverschließbar.

Stand am 16. Dezember 1912.

Stand am 23. April 1916

Abb. 4. Listertalsperre.

Bei der Waldecker Sperrmauer ist das Entwässerungsnetz wie erwähnt umfangreicher. Es besteht nach der Beschreibung von Lange aus sechs zur Mauerkrone gleich verlaufenden wagerechten Strängen unglasierter 150 mm weiter Tonrohre (Abb. 5). Sie liegen etwas über dem Felsen im Mauerwerk, und zwar auf 200,20 Höhe, während die Felssohle am rechten Hang durchschnittlich auf + 199, am linken Hang auf + 200 liegt. An den Hängen bleiben die Stränge gleichlaufend, ihre Anzahl wird also mit abnehmender Mauerhöhe kleiner. Die Mündungsrohre im Stollen sind aus Eisen, haben 10 cm Durchmesser und können mittels eines Schiebers verschlossen werden. Hinter dem Schieber ist ein Bleirohr angebracht, das zu einem rd. 2 m über der Ausmündung des Eisenrohres befindlichen Druckmesser führt, an dem der Wasserdruck, der sich in der Entwässerungsleitung nach Schließung des Schiebers einstellt, abgelesen werden kann. Diese Meßvorrichtung ist nur bei mittleren Wasserständen benutzt worden, da man bei gefülltem Staubecken das Mauerinnere nicht unter Druck setzen mochte. Außer diesen Druckmessern sind im ganzen noch 12 Meßrohre zur Feststellung des Sohlenwasserdrucks nach Art der für die Östertalsperre beschriebenen vor-

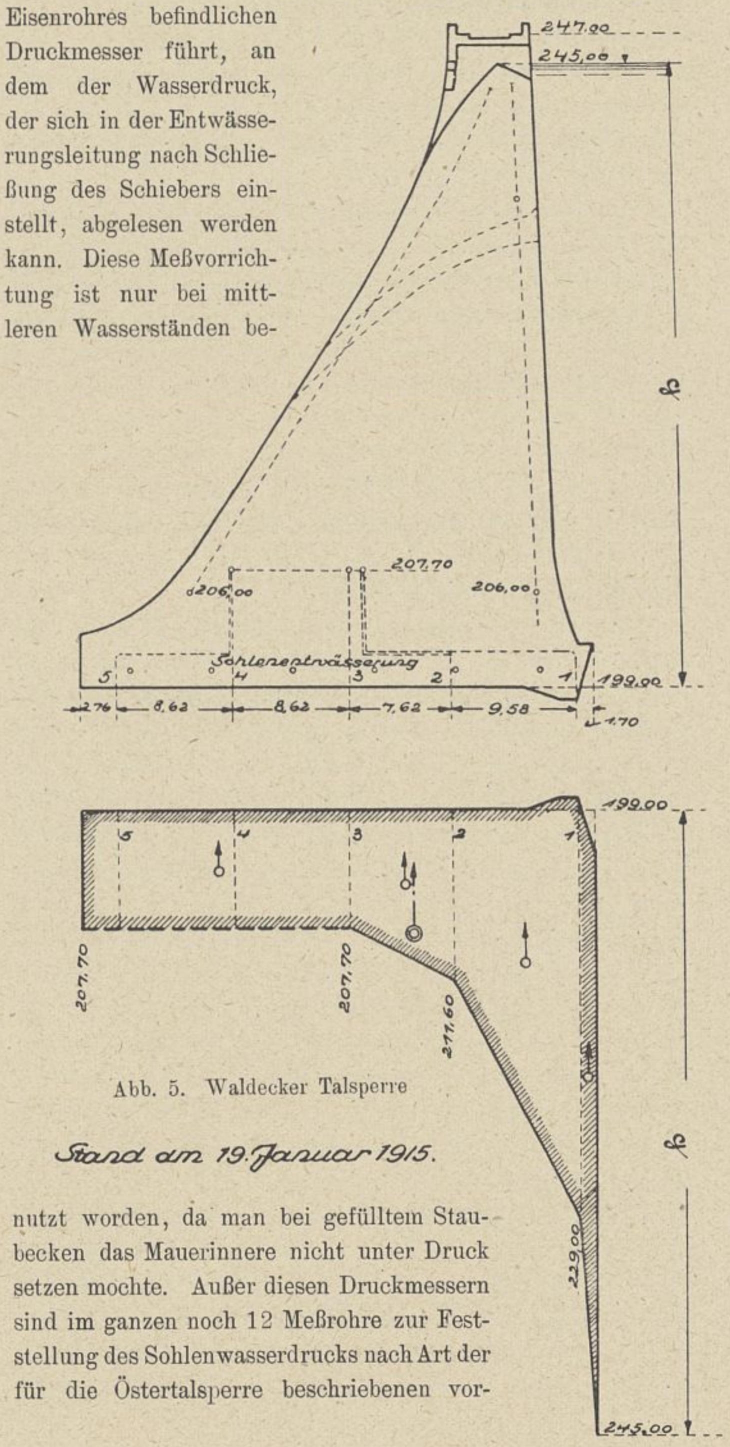


Abb. 5. Waldecker Talsperre

handen. — Ein Vergleich der beiden Bauweisen läßt von vornherein für die Waldecker Talsperre wegen Lage, Zahl und Lichtweite der Entwässerungsleitungen größere Sickermengen erwarten wie bei den beiden anderen Staumauern. Zugunsten der letzteren kommt noch hinzu, daß sie mit einer bis zur halben Mauerhöhe reichenden Erdhinterfüllung versehen sind, während diese bei der Waldecker Talsperre fehlt. Bei der Listertalsperre betrug der Abfluß der Sohlenentwässerung bei rd. 270 m Mauerlänge und 42 m Mauerhöhe bei der ersten Füllung 1912 0,75 l/sek. Er hat sich seitdem vermindert und betrug bei der vierten Füllung 1916 noch 0,3 l/sek. Bei der Möhnetalsperre, die rd. 650 m lang und 40 m hoch ist, betrug der Gesamtabfluß der Sohlenentwässerung beim ersten Überlaufen 1914 0,6 l/sek, hat dann zugenommen und beim zweiten Überlaufen, zwei Jahre später, 1,1 l/sek betragen. Seitdem ist das Staubecken nicht mehr ganz gefüllt gewesen; die Sickermenge der Mauersohle ist aber noch etwas gewachsen und belief sich bei einem Wasserstand von 1,20 m unter Überlaufkante im Frühjahr 1918 auf 1,25 l/sek. Demgegenüber führten bei der Waldecker Mauer, die etwa 420 m lang und 48 m hoch ist, die Sohlenentwässerungen am linken Hang bei der ersten Füllung etwa 20 l/sek, die am rechten Hang etwa 66 l/sek, zusammen 86 l/sek ab (vgl. Lange, a. a. O. Abb. 15).

Die Wirkung der Sohlenentwässerung auf Herabminderung des Sohlenwasserdrucks ist aus den Abb. 3 bis 5 zu ersehen. An den Meßstellen, wo der Druckmesser keinen Druck anzeigt, ist die wirkliche Größe desselben nicht bekannt, jedenfalls aber höchstens gleich dem Abstand des Druckmessers von der Gründungsfläche. In welcher Weise der Druck vom äußersten Meßrohr links nach dem luftseitigen Fußpunkt der Mauer abfällt, ist ebenfalls unbekannt. Wir nehmen auch hier der Einfachheit halber den oben angegebenen Mindestdruck an, und am wasserseitigen Fuß einen solchen gleich der vollen Stauhöhe, zu der genau genommen noch die Überfallstrahldicke hinzuzurechnen ist.

Die Abschwächung des Sohlenwasserdrucks ergab sich am geringsten bei der Listertalsperre, wo bei der ersten Füllung noch an allen Beobachtungsrohren ein Druckmesserausschlag festzustellen war, der aber doch wesentlich kleiner blieb als die entsprechende Ordinate des der statischen Berechnung zugrunde gelegten Drucktrapezes. Die Druckfläche ist im ganzen noch etwas kleiner als die eines rechtwinkligen Dreiecks mit der Höhe h. Dabei liegt ihr Schwerpunkt etwas näher nach der Luftseite der Mauer, also günstiger als der des Dreiecks. Seit der ersten Füllung hat der Sohlenwasserdruck nicht unerheblich abgenommen. Die ungünstigeren Annahmen der statischen Berechnung sind also im Betrieb nicht erreicht worden, und die Mauer befindet sich in einem guten Sicherheitszustand.

In noch höherem Maß ist dies bei der Möhnetalsperre der Fall. Hier war bei der statischen Berechnung die äußerste Belastungsmöglichkeit, nämlich rechteckige Verteilung des Sohlenwasserdrucks mit der vollen Druckhöhe h, angenommen worden. Dies war nicht geschehen, weil ein größerer Druck als bei der gleichzeitig entworfenen Listertalsperre erwartet wurde, als vielmehr deshalb, weil das weiche Gestein des Untergrunds zu einer starken Herabminderung der auf die Einheit der Fläche entfallenden Pressung nötigte. Hierdurch wurde die Mauer verhältnismäßig breit, und daraufhin konnte der Nachweis geführt werden, daß der Querschnitt auch jenem denkbar ungünstigen Belastungsfall gewachsen war. In Wirklichkeit ist der Sohlenwasserdruck nach der Inbetriebnahme viel geringer geblieben; an den meisten nach der Luftseite zu gelegenen Beobachtungsrohren ist die Ablesung am Druckmesser 0. Die ganze Druckfläche ist erheblich kleiner als die eines Wasserdruckdreiecks mit der Höhe h.

Bei der Waldecker Sperrmauer sind die Sohlenwasserdrücke, wie dies zu erwarten war, noch weiter herabgemindert, ganz verschwunden sind sie jedoch auch dort nicht. Die geringfügigen noch verbliebenen Reste sind aber um so mehr belanglos, als bei der Querschnittgestaltung der Mauer durch eine Verbreiterung des luftseitigen Fußes dafür gesorgt worden ist, daß in der Sohle ein Wasserdruck bis 3,27 kg/qcm auftreten kann, ohne die statischen Verhältnisse der Mauer ungünstig zu beeinflussen. (Vgl. hierzu grundsätzlich Soldan, „Die Berücksichtigung des Unterdrucks bei Talsperren", Zentralblatt der Bauverwaltung 1912, S. 134).

Der ziemlich bedeutende Druckunterschied bei der Möhne- und der Listertalsperre trotz der gleichen Bauweise der Sohlenentwässerung dürfte auf drei Ursachen zurückzuführen sein. Einmal liegt bei der Listermauer das Entwässerungsnetz 3 m tiefer im Innern, ferner wurden die Meßrohre nicht in gleichen Abständen, sondern an solchen Stellen der Meßgeraden aufgesetzt, wo das Gestein besonders klüftig war, endlich erwies sich der Felsboden unter diesem Bauwerk als äußerst quellenreich. Hier wurden beim Bau im Untergrund nicht weniger als 61 Quellen vorgefunden, gefaßt, hochgeführt und vergossen, bei der Möhnetalsperre dagegen keine einzige. Aus dem gleichen Grunde fand sich ja auch der Sohlenwasserdruck an der Östertalsperre verhältnismäßig groß. Sobald sich also der Felsboden als quellenreich erweist, kann mit Sicherheit beträchtlicher Sohlenwasserdruck erwartet werden. Umgekehrt ist man aber auch berechtigt, die Größe des an der Listertalsperre auf der entwässerten Gründungsfläche noch verbliebenen Drucks wieder als einen aus einem recht ungünstigen Fall ermittelten Höchstwert anzusehen und der Berechnung künftiger, mit einer Sohlenentwässerung auszustattender Staumauern Sohlenwasserdruck in Dreieckverteilung zugrunde zu legen.

An der Möhnetalsperre wurden zwei Druckprofile der Mauersohle aufgenommen; an der Listertalsperre nur eins (Abb. 6 u. 7). Im zweiten Mauerstollen reichen die Beobachtungsrohre nämlich nicht bis auf den Felsboden, sondern sie liegen wagerecht 5 m tief in der Mauer. Der an den verschließenden Druckmessern abgelesene Wasserdruck bedeutet also den hydrostatischen Druck im Innern des Mauerwerks, den Innenwasserdruck. Dieser erwies sich an allen Rohren gleich Null, im Innern der Mauer ist also kein Wasserdruck vorhanden. Zu annähernd demselben Ergebnis führten gleichartige Versuche an der Waldecker Talsperre (Lange a. a. O. S. 36). Die einwandfreie Feststellung dieser Tatsache ist wichtig; sie bestätigt allerdings die hierüber schon herrschende Anschauung, die auf den Versuchen fußte, die 1902 an einigen rheinisch-westfälischen Talsperren vorgenommen waren. Man hatte damals vom Rohrstollen aus

schmale und tiefe Schlitze in das Mauerwerk gebrochen, vornehmlich um die Erhärtung und den Zustand des zur Herstellung des Bruchsteinmauerwerks verwandten Traßmörtels nachzuprüfen, und dabei festgestellt, daß das Mauerwerk zwar durchnäßt war, daß aber das wenige Sickerwasser ohne jeden Druck ganz langsam aus den Poren herausrieselte. Die Aufhebung des Innenwasserdrucks ist, wie auch Lange zutreffend hervorhebt, den wasserseitigen Sickerleitungen der Mauer zu verdanken.

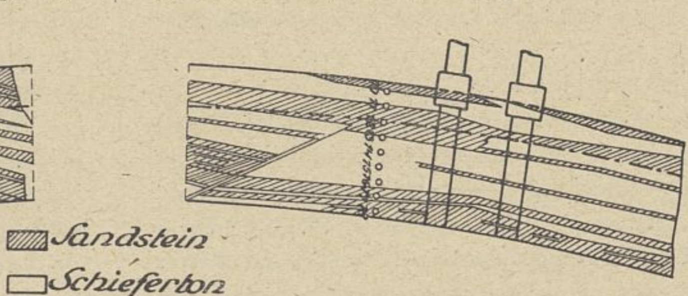


Abb. 6. Möhnetalsperre.
Lage der Rohre für die Beobachtung des Sohlenwasserdrucks.

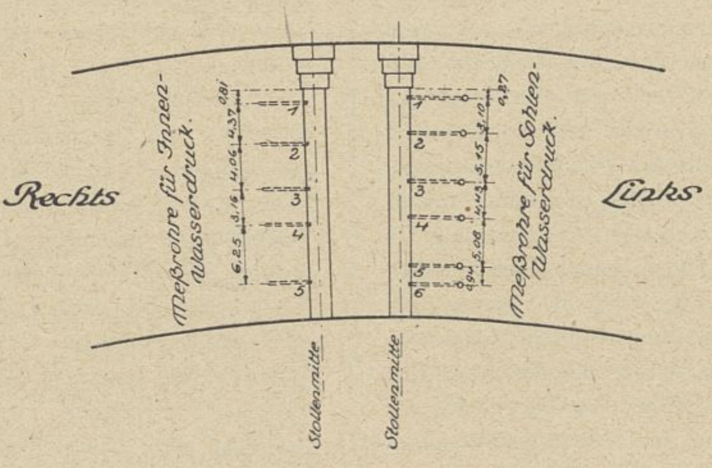


Abb. 7. Listertalsperre.
Lage der Rohre für die Beobachtung des Sohlenwasserdrucks und des Innenwasserdrucks im Mauerwerk.

Wir haben nunmehr zu der Frage Stellung zu nehmen, ob die Sohlenwasserdrücke, wie sie auch bei Staumauern mit entwässerter Gründungsfläche noch auftreten, unter der ganzen Fläche oder nur unter einem Teil derselben anzunehmen sind. Verfasser hat früher die letztere Ansicht vertreten und die Annahme eines Bruchteils $m = 0,3$ bis 0,4 empfohlen, entsprechend dem Porigkeitsgrad von losem Sand oder Kies. Betrachtet man die beiden Druckdarstellungen der Möhnetalsperre (Abb. 3a u. 3b), so zeigt sich, daß in der Tat inselartige Stellen in der Gründungsfläche vorkommen, wo der Wasserdruck gegenüber dem in der Umgebung herrschenden gesteigert ist. Hier ruft eine örtliche Undichtigkeit im Felsgrund in ihrem Umkreis einen erhöhten Wasserdruck hervor. Wir werden ferner am Schluß dieser Abhandlung zu Feststellungen gelangen, die dagegen sprechen, daß der Sohlenwasserdruck an allen Stellen der Gründungsfläche in der durch die Messungen festgestellten Größe herrscht. Anderseits ist doch zu beachten, daß man an den jetzt schon zahlreichen auf den Felsboden reichenden Beobachtungsrohren der neueren Staumauern mit nicht entwässerter Gründungsfläche ohne Ausnahme einen gewissen Sohlenwasserdruck gefunden, niemals ein völliges Fehlen desselben beobachtet hat, wie wir es doch oben für das Mauerinnere der Lister- und der Waldecker Talsperre unter Anwendung der gleichen Meßvorrichtung feststellen konnten. Es empfiehlt sich daher, um die beim Talsperrenbau gebotene Vorsicht nicht zu vernachlässigen, bei der statischen Berechnung unter der ganzen Sohlenfläche eine offene Fuge und Wasserdruck in bestimmter Größe anzunehmen.

Um aus den vorstehenden Untersuchungen für die sachgemäße Ausbildung künftiger Neuanlagen die nötigen Folgerungen zu ziehen, sind wir genötigt, auf die Bauweise der Entwässerungsleitungen der Staumauern nochmals im Zusammenhang einzugehen. Intze, der der Erfinder der wasserseitigen Mauerentwässerung ist, stattete seine Sperrmauern mit einer Reihe von Dränrohren von 60 mm l. W. aus, die in 2 m Abstand von der Wasserseite verliefen (Abb. 2), nur an der Urfttalsperre liegen sie in einer lotrechten, etwa von der Mitte der Krone ausgehenden und dem Grundrißbogen der Mauer folgenden Zylinderfläche. Bei der Möhne- und der Listertalsperre wurde die wasserseitige Entwässerung in zwei Gruppen zerlegt, wobei die zweite mehr nach dem Mauerinnern zu liegen kam (Abb. 3 u. 4). Der Zweck war, die Wasserverluste und die künstliche Undichtigkeit der Mauer herabzumindern, was auch erreicht worden ist, denn die Sickermengen der Mauerentwässerung sind klein geblieben. Es spricht vieles dafür, bei künftigen Neubauten die wasserseitige Mauerentwässerung im ganzen etwas weiter nach dem Mauerinnern zu verlegen, z. B. 3 m statt 2 m von der Wasserseite entfernt (Abb. 8); dies wird eine wünschenswerte Verringerung der Sickermengen zur Folge haben. Bei den drei oben behandelten Staumauern kamen dann die beschriebenen Sohlenentwässerungen hinzu. Außerdem wurde bei der Listertalsperre eine luftseitige Entwässerung angelegt, zu dem Zweck, die Reste des im Mauerinnern nach der Vorderseite sickernden Wassers unschädlich abzuleiten (Abb. 4). Da äußerlich sichtbare Undichtigkeiten, z. B. nasse Flecke oder Rieselstellen, bei Staumauern fast ausschließlich am Mauerfuß auftreten, so wurde jene luftseitige Entwässerung nur bis etwa 5 m über Talsohle hochgeführt; hier schnitt sie wagerecht ab. An der Möhnetalsperre war im ersten Entwurf ebenfalls an der Luftseite eine bis zur Krone reichende Dränage vorgesehen, doch wurde später auf diese verzichtet. An der Waldecker Talsperre ist die Luftseite durch eine Sikkerleitung in ganzer Höhe der Mauer nochmals entwässert.

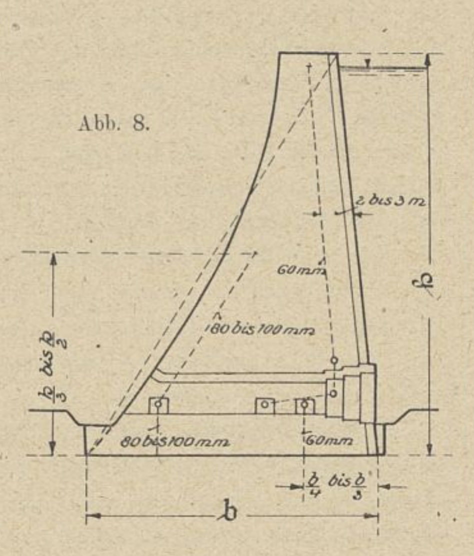


Abb. 8.

Dies Bauwerk ist in der Sichtfläche ganz trocken, die Möhnetalsperre und viele ältere Anlagen ohne jene zweite Entwässerung sind es aber auch, ein Beweis, daß die luftseitige Dränung oberhalb des Stollens zwar nützlich, aber nicht gerade unbedingt notwendig ist.

Es sei jedoch auf eine andere Maßnahme hingewiesen, die geeignet ist, dem Auftreten von nassen Flecken oder Rieselstellen in der Sichtfläche am Fuße der Mauer entgegenzuarbeiten.

Wir hatten sowohl bei der Lister- als auch bei der Möhnetalsperre jenseits, d. h. luftseitig von der Sohlenentwässerung, doch noch das Auftreten von mehr oder weniger großem Sohlenwasserdruck festgestellt. Denken wir uns solche Druckstellen, insbesondere Quellen, durch offene Fugen in Verbindung mit der Maueraußenfläche, so wird das Wasser nach vorn abfließen und der Druck verschwinden, dabei wird aber die Sichtfläche durchnäßt werden. Da nach den übereinstimmenden Ergebnissen aller bisherigen Messungen jede Staumauer Sohlenwasserdruck erfährt, so muß man annehmen, daß alle Mauern an der Außenfläche nahe dem Felsuntergrund mehr oder weniger durchnäßt sind, nur wird diese Durchfeuchtung nicht sichtbar, weil sie unter der Erdoberfläche liegt. Nur die Waldecker Talsperre ist wahrscheinlich wegen ihrer weitgehenden Sohlenentwässerung hiervon ausgenommen. Unter Umständen, besonders bei nicht tief gegründeten Mauern, kann sich die Durchfeuchtung bis zur Erdoberfläche ausdehnen und wird dann störend sichtbar. Gegen eine solche Durchnässung von der Sohle her schützen mit Sicherheit weder die wasser- und die luftseitigen Sickerstränge der Mauer, noch auch eine einzelne Reihe von Sohlenentwässerungen, sondern nur ein zweites Netz zur Entwässerung der Felssohle nahe dem luftseitigen Mauerfuß (Abb. 8). Es hat mit dem Verlauf der Begrenzung des Mauerquerschnitts an der Luftseite nichts zu tun, braucht also auch nicht schräg, sondern kann senkrecht angelegt werden; und zwar wählt man hier die Dräne, um der Gefahr der Verstopfung zu begegnen, zweckmäßig in etwas größerer Weite, z. B. 80 bis 100 mm l. W. statt 60 mm. In die Sammelleitung dieser luftseitigen Sohlenentwässerung kann man dann auch die Stränge der luftseitigen Mauerdränung einmünden lassen, falls man eine solche anwenden will. Jedenfalls braucht letztere nicht bis zur Mauerkrone durchgeführt zu werden, sondern kann etwa in halber Höhe des jeweiligen Querschnittes im Mauerwerk enden. Ob man die Sohlenentwässerung statt mit einer Reihe von senkrechten Dränen mit einer auf dem Felsen liegenden durchgehenden wagerechten Sickerleitung ausbilden oder durch diese ergänzen will, mag hier offen bleiben. Zweifellos würde letztere den Sohlenwasserdruck noch weiter vermindern, aber auch die Wasserverluste erhöhen.

Wir sind nunmehr zu folgenden Feststellungen gelangt:

1. Unter jeder Staumauer, auch solchen mit entwässerter Gründungsfläche, stellt sich ein gewisser Sohlenwasserdruck ein. Er ist am größten bei der ersten Füllung und pflegt sich später zu vermindern.

2. Die Druckfläche kann bei nicht entwässerter Sohle nach einem Trapez angenommen werden, dessen Seitenlängen an der Wasserseite gleich der vollen Druckhöhe h, an der Luftseite gleich $0{,}5\,h$ sind.

3. Bei entwässerter Gründungsfläche genügt für die statische Berechnung die Annahme eines rechteckigen Druckdreiecks, dessen Grundlinie gleich der Sohlenbreite und dessen wasserseitige Höhe gleich der Druckhöhe h ist.

4. An Entwässerungsleitungen der Gründungsfläche genügen zwei Reihen senkrechter Dränrohre oder zwei wagerechte Sickerstränge, die eine in einem Abstand von der Wasserseite gleich $^1/_4$ bis $^1/_3$ der Sohlenbreite, die zweite, die zweckmäßig etwas weiter genommen wird, in geringem Abstand von der Mauervorderkante.

5. Jede Sohlenentwässerung hat Wasserverluste zur Folge und bewirkt eine gewisse künstliche Undichtigkeit der Mauer. Man tut also um so mehr gut, in der Anwendung dieses Hilfsmittels sich Beschränkung aufzuerlegen, als bei der Steigerung von Zahl und Größe der Entwässerungsrohre die Sickermengen in viel stärkerem Maß wachsen als sich der Sohlenwasserdruck verringert. Auch ist zu beachten, daß sich diese Wasserverluste im Lauf der Jahre durch Erweiterung der unterirdischen Wasseradern erhöhen können, ohne daß man etwas Durchgreifendes gegen diesen Nachteil zu tun vermöchte.

Die Forderungen zu 2 und 3 könnten die Befürchtung erwecken, daß die Einführung des Sohlenwasserdrucks in die Berechnung der Staumauern zu stärkeren Querschnitten führe, als man sie bisher für notwendig gehalten hat, also den Talsperrenbau verteuere. Im folgenden soll nachgewiesen werden, daß dies nicht der Fall ist, und daß die Annahme von trapez- oder dreieckförmigem Sohlenwasserdruck keine stärkeren Querschnitte bedingt, als sie zufolge der beim Talsperrenbau gebotenen Vorsicht auch bisher schon üblich waren. Der Nachweis wird sehr erleichtert durch die Betrachtung eines dreieckförmigen Querschnitts, des Grunddreiecks der Staumauer für den betreffenden Belastungsfall.

Hier muß leider nochmals eine Urheberbemerkung eingeschaltet werden. In der Zeitschrift für Bauwesen 1917, Heft 1 bis 3 und 10 bis 12, hat Baurat Ziegler eingehende Untersuchungen über Grunddreiecke von Staumauern veröffentlicht. Wenn nun im folgenden die Formeln für weitere Grunddreiecke aufgestellt werden, so muß dies bei dem Leser, der zwar jene Veröffentlichung, nicht aber die frühere Talsperrenliteratur zur Hand hat, den Eindruck erwecken, als werde hier auf einer von Ziegler geschaffenen Grundlage weiter gearbeitet. Aus Zieglers Aufsatz ist nicht zu erkennen, daß der Begriff des „Grunddreiecks", ferner wesentliche Teile der von ihm angewandten Rechnungsweise und eine Anzahl der dort entwickelten Formeln sich schon, und zwar zum ersten Mal, in des Verfassers Broschüre: „Die Entwicklung der Querschnitte von Staumauern und Wehren aus dreieckigen Grundformen" finden (1910 bei Julius Springer). Mit diesen Ausführungen soll nur gesagt sein, daß Verfasser im folgenden an der Lehre vom Grunddreieck mit eigenen Bausteinen weiterbaut.

Nach Abb. 9 ist für die Mauervorderkante als Drehpunkt:

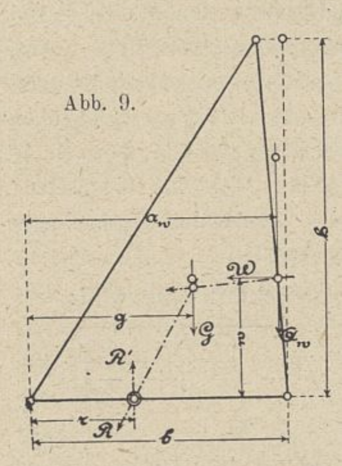
$$R' \cdot r = G \cdot g + A_w \cdot a_w - W \cdot w$$

$$R' = G + A_w$$

$$r = \frac{G \cdot g + A_w \cdot a_w - W \cdot w}{G + A_w}.$$

Allgemein ist $r = \dfrac{\Sigma M}{\Sigma V}.$

Wenn der Sohlenwasserdruck nicht in die Berechnung eingeführt wird, so muß verlangt werden, daß die Schlußkraft R im innern Drittel, dem Kern des Querschnitts, verläuft, da sonst am wasserseitigen Mauerfuß Zugspannungen eintreten würden, die zu einem Aufklaffen der Fuge und zum Eindringen von Druckwasser unter die Mauersohle führen könnten. Wir haben aber eine offene Fuge und das Auftreten von Sohlenwasserdruck von vornherein vorausgesetzt. Wird letzterer in der ganzen Gründungsfläche mit dem durch die Druckzeigermessungen festgestellten Größtwert angreifend angenommen, so verliert die Berechnung der Staumauer nach der Kerntheorie ihre Bedeutung. Es kann nur noch gefordert werden:

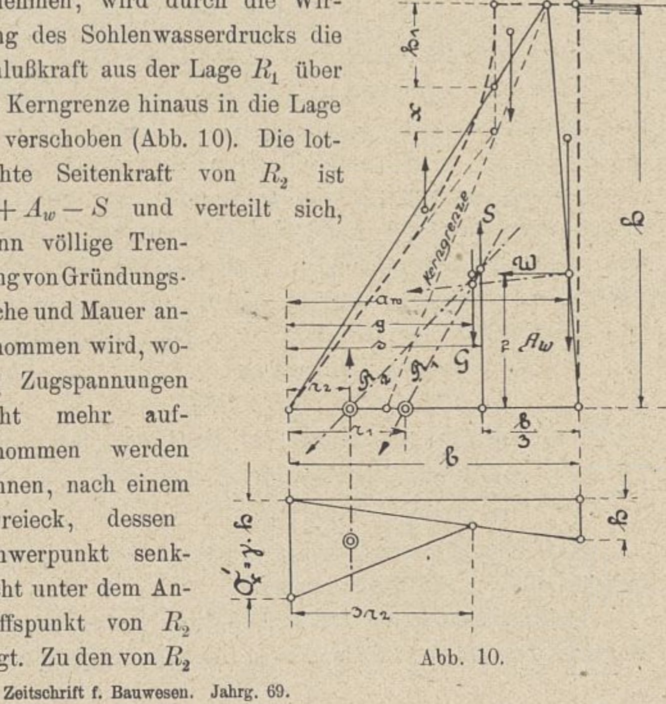

Abb. 9.

a) daß die Mauer durch den Wasserdruck nicht abgeschoben wird (gleitet),

b) daß sie nicht um die Vorderkante kippt,

c) daß die Spannungen das als zulässig erachtete Maß nicht überschreiten.

Auf die Forderung zu a) werden wir später zurückkommen. Die Forderung zu c) geht über b) hinaus und schließt sie in sich, denn sie bedeutet, daß die Schlußkraft noch in einem solchen Abstand von der Vorderkante der Mauer verlaufen muß, daß die zulässige Kantenpressung nicht überschritten wird, während bei Abmessungen, die der Forderung zu b) noch gerade genügen, die Schlußkraft durch die Mauervorderkante gehen und eine unendlich große Pressung an dieser Stelle hervorrufen würde. Wir haben also den Querschnitt so auszubilden, daß die Druckspannung sowohl bei vollem als auch bei leerem Becken die zulässige Größe nicht übersteigt. Beim Höchstwasserstand, den wir bei der statischen Berechnung mit der Kronenkante gleichstehend annehmen, wird durch die Wirkung des Sohlenwasserdrucks die Schlußkraft aus der Lage R_1 über die Kerngrenze hinaus in die Lage R_2 verschoben (Abb. 10). Die lotrechte Seitenkraft von R_2 ist $G+A_w-S$ und verteilt sich, wenn völlige Trennung von Gründungsfläche und Mauer angenommen wird, wobei Zugspannungen nicht mehr aufgenommen werden können, nach einem Dreieck, dessen Schwerpunkt senkrecht unter dem Angriffspunkt von R_2 liegt. Zu den von R_2 hervorgerufenen Pressungen kommt der Sohlenwasserdruck hinzu. Bei dreieckförmiger Verteilung desselben ergibt sich demnach die aus Abb. 10 ersichtliche Druckdarstellung.


Abb. 10.

Nun ist:

$$r_2=\frac{\Sigma M}{\Sigma V}=\frac{G\cdot g+A_w\cdot a_w-W\cdot w-S\cdot s}{G+A_w-S}.$$

Aus der dreieckförmigen Verteilung der lotrechten Druckspannung folgt:

$$\frac{\sigma_x'\cdot 3r_2}{2}=G+A_w-S.$$

r_2 aus der der letzten Gleichung in die erste eingesetzt ergibt:

$$\sigma_x'=\frac{2\cdot(G+A_w-S)^2}{3\cdot(G\cdot g+A_w\cdot a_w-W\cdot w-S\cdot s)}=\frac{2\cdot(\Sigma V)^2}{3\cdot\Sigma M}.$$

Um mit Hilfe der vorstehenden Formel zu bestimmten Abmessungen des Mauerquerschnitts zu gelangen, muß man sich entscheiden, welche lotrechte Kantenpressung σ_x' man zulassen will. Ein rechtwinkliges Staumauerdreieck von der Höhe h und beliebig großer Sohlenbreite erfährt bei leerem Becken an der Wasserseite, wie sich leicht nachweisen läßt, eine lotrechte Kantenpressung $\sigma_x''=\gamma\cdot h$, wo γ das Raumgewicht des Mauerwerks bedeutet. Diese Pressung ist zugleich die größte, die im zugspannungsfreien rechtwinkligen Staumauerdreieck bei vollem oder leerem Becken vorkommen kann. Aus dieser Überlegung folgt, daß das Bauwerk auch nach dem Eintreten von Sohlenwasserdruck keine höheren senkrechten Pressungen erfahren wird, als sie bei lotrechter Begrenzung der Stauwand ohnehin bei leerem Becken im Querschnitt auftreten und demnach ohne Berücksichtigung des Sohlenwasserdrucks auch bei gefülltem Becken zugelassen zu werden pflegen, wenn man für σ_x' den Wert $\gamma\cdot h$ einsetzt. Man erhält dann:

$$\gamma\cdot h=\frac{2}{3}\cdot\frac{(G+A_w-S)^2}{(G\cdot g+A_w\cdot a_w-W\cdot w-S\cdot s)}$$

Es ist einzusetzen:

$$G=\frac{\gamma\cdot b\cdot h}{2},\quad g=\frac{b\cdot(2-n)}{3},\quad G\cdot g=\frac{\gamma\cdot b^2\cdot h\;(2-n)}{6},$$

$$A_w=\frac{n\cdot b\cdot h}{2},\quad a_w=\frac{b\cdot(3-n)}{3},\quad A_w\cdot a_w=\frac{n\cdot b^2\cdot h\cdot(3-n)}{6},$$

$$W=\frac{h^2}{2},\quad w=\frac{h}{3},\quad W\cdot w=\frac{h^3}{6},$$

$$S=\frac{b\cdot h}{2},\quad s=\frac{2b}{3},\quad S\cdot s=\frac{b^2\cdot h}{3}.$$

Damit wird:

$$\gamma\cdot h=\frac{2}{3}\cdot\frac{\left(\frac{\gamma\cdot b\cdot h}{2}+\frac{n\cdot b\cdot h}{2}-\frac{b\cdot h}{2}\right)^2}{\left(\frac{\gamma\cdot b^2\cdot h\;(2-n)}{6}+\frac{n\cdot b^2\cdot h\;(3-n)}{6}-\frac{h^3}{6}-\frac{b^2\cdot h}{3}\right)}$$

$$\boldsymbol{b}=\boldsymbol{h}\cdot\sqrt{\frac{\gamma}{(1-\boldsymbol{n})\cdot(\gamma^2+\gamma\boldsymbol{n}+\boldsymbol{n}-1)}}\quad . \quad (1)$$

Für $n=0$ (rechtwinkliges Dreieck) wird:

$$b=h\cdot\sqrt{\frac{\gamma}{\gamma^2-1}}\quad .\;.\;.\;.\;.\quad (2)$$

und mit $\gamma=2{,}4$ ergibt sich:

$$b=0{,}710\,h\quad .\;.\;.\;.\;.\quad (2a)$$

Dies Maß von b hält Verfasser für ausreichend einschließlich der durch Verzahnung mit der Mauer verbundenen Verblendung; der Mauerkörper bleibt also bei der Ausführung zunächst um 60 bis 90 cm schwächer. (Das bloße Anlehnen

einer Verblendung von gleichbleibender Stärke an eine glatte Mauerrückwand sollte bei künftigen Ausführungen nicht wiederholt werden, seit es in einem Fall zu einem Abklaffen der Verblendung vom Hauptmauerkörper als Folge der ungleichen elastischen Bewegungen beider geführt hat.) Unter γ ist das wahrscheinliche Raumgewicht des künftigen Mauerwerks, nicht das aus Vorsicht etwas herabgesetzte, verstanden (meist $\gamma = 2{,}3$ statt 2,4 bei der bisher üblichen Berechnung der Mauer nach der Kerntheorie ohne Berücksichtigung des Sohlenwasserdrucks).

Zum Vergleich sollen auch die Abmessungen des Grunddreiecks bei trapezförmiger Verteilung des Sohlenwasserdrucks angegeben werden. Dann ist:

$$S = \tfrac{3}{4}\, b \cdot h, \quad s = \tfrac{5}{9}\, b, \quad S \cdot s = \tfrac{5}{12}\, b^2 \cdot h,$$

und die Formeln lauten:

$$\sigma_x' = \gamma \cdot h - \frac{h}{2},$$

$$\gamma \cdot h - \frac{h}{2} = \frac{2}{3} \cdot \frac{\left(\frac{\gamma \cdot b \cdot h}{2} + \frac{n \cdot b \cdot h}{2} - \frac{3 \cdot b \cdot h}{4}\right)^2}{\left(\frac{\gamma \cdot b^2 \cdot h \cdot (2-n)}{6} + \frac{n \cdot b^2 \cdot h \cdot (3-n)}{6} - \frac{h^3}{6} - \frac{5}{12} b^2 \cdot h\right)}$$

$$b = h \sqrt{\frac{(2\gamma - 1)}{(1-n) \cdot (2\gamma^2 + 2\gamma n - \gamma) + n \cdot (3-n) - 2}} \quad (3)$$

Für $n = 0$ wird $b = h \cdot \sqrt{\frac{(2\gamma - 1)}{2\gamma^2 - \gamma - 2}}$, (4)

und mit $\gamma = 2{,}4$ ergibt sich:

$$b = 0{,}731\, h. \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (4\text{a})$$

Ziegler will den Untergrund mit der vollen zulässigen Kantenpressung, hier also $\gamma \cdot h$, und außerdem noch mit dem Sohlenwasserdruck, bei Trapezverteilung also $\frac{h}{2}$, belasten (a. a. O. S. 158). Verfasser hält dies nicht für richtig, denn Wasserdruck auf eine Ebene eines Körpers wirkt auf diesen ebenso angreifend und bei großen Pressungen schließlich zerstörend wie ein anderer Druck von gleicher Größe. Die von Ziegler vorausgesetzte allseitige Belastung der den Untergrund bildenden Gesteinschichten mit Druckwasser kann nach Ansicht des Verfassers nicht angenommen werden. Übrigens ist dieser Widerstreit der Ansichten für den nach den vorstehenden Ausführungen wichtigsten Belastungsfall, d. h. bei Sohlenwasserdruck in Dreieckverteilung, belanglos.

Die oben gefundenen Sohlenbreiten von Staumauern sind nunmehr mit ausgeführten Anlagen zu vergleichen, bei deren Berechnung der Sohlenwasserdruck noch nicht berücksichtigt worden ist, und zwar sind Mauern ohne wasserseitigen Fuß herauszugreifen, da diese der reinen Dreieckform am nächsten kommen. Das Verhältnis von Mauerhöhe zur Sohlenbreite fand sich bei vier Beispielen wie folgt:

Haspertalsperre . . .	$h = 33{,}70$ m	
	$b = 23{,}60$ „	oder $= 0{,}700\, h$
Glörtalsperre	$h = 32{,}00$ „	
	$b = 22{,}80$ „	„ $= 0{,}712\, h$
Östertalsperre	$h = 36{,}00$ „	
	$b = 26{,}50$ „	„ $= 0{,}736\, h$
Hennetalsperre . . .	$h = 37{,}90$ „	
	$b = 28{,}00$ „	„ $= 0{,}739\, h$.

Die genannten Staumauerquerschnitte entsprechen also auch bei Auftreten von Sohlenwasserdruck in dreieck- oder in trapezförmiger Verteilung allen Anforderungen, wenn man zugunsten der beiden ersten berücksichtigt, daß sie im oberen Teil wesentlich schwerer sind, als es der reinen Dreieckform entspricht.

Wenn bei hohen Staumauern die Spannung $\gamma \cdot h$ nicht mehr zugelassen werden soll, so ist in den vorstehenden Formeln statt γ ein solches Vielfaches α von h einzusetzen, daß die Kantenpressung die als zulässig erachtete Grenze nicht übersteigt. Ist beispielsweise $h = 60$ m, und die lotrechte Kantenpressung soll 12 kg/qcm oder 120 t/qm nicht überschreiten, so ist $\alpha = 2$, und in den vorstehenden Formeln ist auf der linken Seite statt $\gamma \cdot h$ der Wert $2\,h$ einzusetzen. Die unter Einführung von α sich ergebenden allgemeineren Formeln sind nächstehend angegeben.

Bei Sohlenwasserdruck in Dreieckverteilung wird:

$$b = h \cdot \sqrt{\frac{\alpha}{\alpha \cdot [\gamma \cdot (2-n) + n \cdot (3-n) - 2] - (\gamma + n - 1)^2}} \quad (5)$$

$$n = 0, \; b = h \cdot \sqrt{\frac{\alpha}{\alpha \cdot (2\gamma - 2) - (\gamma - 1)^2}} \quad . \quad . \quad (6)$$

Beispiel: $\alpha = 2$, $\gamma = 2{,}4$, $b = 0{,}741\, h$.

Bei Sohlenwasserdruck in Trapezverteilung wird:

$$b = h \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot (2\alpha - 1)}{(2\alpha - 1) \cdot [2\gamma \cdot (2-n) + 2n \cdot (3-n) - 5] - (2\gamma + 2n - 3)^2}} \quad (7)$$

$$n = 0, \; b = h \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot (2\alpha - 1)}{(2\alpha - 1)(4\gamma - 5) - (2\gamma - 3)^2}} \quad (8)$$

Beispiel: $\alpha = 2$, $\gamma = 2{,}4$, $b = 0{,}754\, h$.

Zur Herabminderung der Kantenpressung bei leerem Becken auf den Wert $\alpha \cdot h$ ist entweder die wasserseitige Mauerwand stärker zu neigen, oder bei größeren Höhen, am wasserseitigen Mauerrand eine Fußverbreiterung anzufügen.

Abb. 11.

Im ersteren Fall ist nach Abb. 11:

$$\sigma_x'' = \sigma_m \cdot \left(1 + \frac{6c}{b}\right)$$

$$\sigma_m = \frac{\gamma \cdot h}{2}$$

$$c = g - \frac{b}{2} = \frac{b \cdot (2-n)}{3} - \frac{b}{2}$$

$$\sigma_x'' = \gamma \cdot h \cdot (1-n) \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (9)$$

$$\sigma_x'' = \alpha \cdot h$$

$$\alpha = \gamma \cdot (1-n) \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (10)$$

Man berechnet aus (10) das erforderliche n und danach aus (5) oder (7) die Sohlenbreite b.

Bei Staumauern ohne Fuß sind die nach den vorstehenden Formeln berechneten Sohlenbreiten der Dreieckquerschnitte

nicht nur Annäherungswerte, sondern unmittelbar verwendbar. Wir ergänzen zu diesem Zweck das Grunddreieck durch das Dreieck der Mauerbekrönung mit der Breite b_1 und der Höhe h_1 (Abb. 10), und schneiden aus ersterem an der Luftseite ein schmales Dreieck aus, dessen Grundlinie x so zu bemessen ist, daß die Momente der beiden hinzugekommenen positiven und negativen Dreieckflächen in bezug auf die Mauervorderkante gleich werden. Dann bleibt in den beiden Formeln $r = \frac{\Sigma M}{\Sigma V}$ und $\sigma'_x = \frac{2}{3} \cdot \frac{(\Sigma V)^2}{\Sigma M}$ der Wert ΣM unverändert, ΣV dagegen wird etwas kleiner, weil die Fläche des Dreiecks mit der Grundlinie x zufolge des kürzeren Hebelarms etwas größer ausfällt als die des Kronendreiecks. Die Spannung σ'_x an der Mauervorderkante wird demnach ein wenig verringert. Nach Ausrundung des stumpfen Winkels bei x durch eine passende Krummlinie (Abb. 10) genügt der abgeänderte Querschnitt den der Berechnung zugrunde gelegten Bedingungen und ist für die Anwendung brauchbar.

Wir haben noch von den oben angegebenen drei Standfestigkeitsbedingungen die erste betreffend Sicherheit gegen Gleiten nachzuholen. Für ein von Sohlenwasserdruck betroffenes rechtwinkliges Staumauerdreieck, das mit offener Fuge auf dem Felsboden steht, nicht aber in ihn eingefügt ist, gilt für die Grenze des Gleichgewichts die Beziehung $(G - S) \cdot f = W$, wo f die Reibungsziffer für Mauerwerk auf Felsen ist. Nehmen wir $\gamma = 2{,}4$, die Sohlenbreite bei dreieckförmiger Verteilung des Sohlenwasserdrucks b

$$= 0{,}710\,h, \quad G = \frac{\gamma \cdot b \cdot h}{2} = 0{,}852\,h^2, \quad S = \frac{b \cdot h}{2} = 0{,}355\,h^2,$$

$$f = 0{,}75, \quad W = \frac{h^2}{2},$$

so ergibt sich die dem Gleiten widerstehende Kraft $(G - S) \cdot f = 0{,}373\,h^2$, also kleiner als der Stauwasserdruck W; die Mauer ist gegen Gleiten nicht standsicher! Es ist demnach den Ausführungen Zieglers in Heft 7 bis 9 der Zeitschrift für Bauwesen 1916 zuzustimmen, daß die größte einer Staumauer drohende Gefahr die des Gleitens ist, und daß alle bisher beobachteten Staumauerzerstörungen auf Abschiebung des Mauerkörpers zurückzuführen sind. Zum Glück ist es aber leicht, eine weitere Kraft der Standsicherheit des Bauwerks dienstbar zu machen. Die Mauer ist je nach ihrer Höhe mehr oder weniger tief in den Felsen einzubetten, worauf der Gegendruck der lotrechten Felswand an der Luftseite als weitere der Verschiebung entgegenwirkende Kraft in die Rechnung eingeführt werden kann. Bezeichnen wir die Tiefe dieser Einbettung mit h_2, so ist es zur Erzielung einer gleichmäßigen Beanspruchung des Mauerwerks und des Felsens bei den verschiedenen Belastungsfällen zweckmäßig, daß man als Grenze der Pressung σ_y auf die Felswand auch hier den Wert $\gamma \cdot h$ annimmt; gegebenenfalls ist $\gamma \cdot h$ wieder durch $\alpha \cdot h$ zu ersetzen. Wir erhalten dann:

$$(G - S) \cdot f + \sigma_y \cdot h_2 = W$$

(vgl. auch Zentralblatt der Bauverwaltung 1912, S. 38).

Bei dreieckiger Verteilung des Sohlenwasserdrucks ist:

$$\left(\frac{\gamma \cdot b \cdot h}{2} - \frac{b \cdot h}{2}\right) \cdot f + \gamma \cdot h \cdot h_2 = \frac{h^2}{2}.$$

$$h_2 = \frac{h - b \cdot f \cdot (\gamma - 1)}{2\gamma} \quad . \; . \; . \; . \quad (11)$$

Mit $f = 0{,}75$, $\gamma = 2{,}4$ und $b = 0{,}710\,h$, wie oben berechnet, erhält man: $h_2 = 0{,}053\,h$.

Eine aus der Dreieckform hervorgegangene Staumauer mit lotrechter Wasserseite von 50 m Höhe wäre also bei Annahme einer dreieckförmigen Verteilung des Sohlenwasserdrucks $50 \cdot 0{,}053 = 2{,}65$ m tief in den Felsen einzufügen und in gleicher Höhe an die luftseitige Felswand anzumauern. Durch den Einfluß des Gewichts der Mauerbekrönung wird diese Zahl etwas herabgesetzt. — Noch größer werden die Einbettungstiefen bei Annahme einer trapezförmigen Verteilung des Sohlenwasserdrucks. Die Formeln lauten dann:

$$\left(\frac{\gamma \cdot b \cdot h}{2} - \tfrac{3}{4}\, b \cdot h\right) \cdot f + \gamma \cdot h \cdot h_2 = \frac{h^2}{2},$$

$$h_2 = \frac{2h - b \cdot f \cdot (2\gamma - 3)}{4\gamma} \quad . \; . \; . \quad (12)$$

Mit $f = 075$, $\gamma = 2{,}4$ und $b = 0{,}731\,h$, wie oben berechnet, erhält man: $h_2 = 0{,}106\,h$.

Wir finden also Eingriffstiefen, die zwar bei dreieckförmiger Verteilung des Sohlenwasserdrucks noch in mäßigen und auch bisher üblichen Grenzen bleiben, dagegen bei trapezförmiger Verteilung schon erheblich darüber hinausgehen. Man kann daraus bei dem guten Verhalten unserer meist wenig tief in den Felsboden eingefügten älteren Staumauern entweder den Schluß ziehen, daß außer der Reibung noch ein gewisses Maß von Scherfestigkeit zwischen Mauer und Felsen wirksam sein müsse, oder daß die luftseitige Felswand, an die die Mauer angesetzt ist, stärkere Pressungen erfährt als man bisher vermutete, oder daß der Sohlenwasserdruck nur unter einem nicht näher bekannten Bruchteil der Sohle in der beobachteten Stärke angreifen und demnach nicht in dem angenommenen Maß auf Verminderung des Mauergewichts einwirken könne. Auch ist sicher, daß die bogenförmig zwischen die Berghänge eingespannte Staumauer der Abschiebung einen viel größeren Widerstand entgegensetzt, als sich aus unserer Betrachtung einer geradlinigen Mauerscheibe ergeben hat.

Jedenfalls muß aber aus den vorstehenden Untersuchungen die Folgerung gezogen werden, daß eine (nicht zu weitgehende) Sohlenentwässerung zur Herabminderung des Sohlenwasserdrucks, ferner ein genügend tiefes Eingreifen der Mauer in den Felsuntergrund und das feste und dichte Anmauern derselben auf der ganzen Höhe der luftseitigen Felswand wichtige Maßnahmen sind, die als Grundregeln beim Entwurf und Bau von Staumauern beachtet werden müssen. Dem älteren deutschen Talsperrenbau waren beide Forderungen noch nicht geläufig, auch die zweite nicht, wie ein Blick auf Abb. 2 dieses Aufsatzes, ferner auf Abb. 2 oder Abb. 89 in Intzes Werk „Die geschichtliche Entwicklung, die Zwecke und der Bau der Talsperren“ erkennen lassen (Berlin bei Julius Springer, vergriffen). Die Vorschrift des Anmauerns ist 1918 als Nachtrag in die von den zuständigen preußischen Ministerien herausgegebene Anweisung für den Bau und Betrieb von Sammelbecken aufgenommen worden; die Sohlenentwässerung wird man schon deshalb bei künftigen Neuanlagen nicht fehlen lassen, weil sie, wie ein Vergleich von (2a) mit (4a) zeigt, eine Ersparnis an Mauerwerksmasse von etwa 3 vH. und eine entsprechende Verminderung der Baukosten zur Folge hat.

Der Abschluß der Nogat.

Vom Regierungsbaumeister Salfeld in Saalfeld (Saale).

(Mit Abbildungen auf Blatt 27 und 28 im Atlas.)

Während des Weltkrieges, während Deutschlands Wehrmacht im Felde stand, in der Heimat alle Kräfte angespannt wurden, um das zum Kriege Notwendige zu schaffen, ist bis auf wenige Restarbeiten ein Werk zu Ende geführt, das von den Bewohnern der fruchtbaren Niederungen im Mündungsgebiet der Weichsel und Nogat seit langem herbeigesehnt wurde: Die Nogat ist hochwasserfrei abgeschlossen, die Folgeeinrichtungen an der Weichsel und Nogat sind beendet. Am 15. September 1917 konnte die kanalisierte Nogat für den öffentlichen Verkehr freigegeben werden.

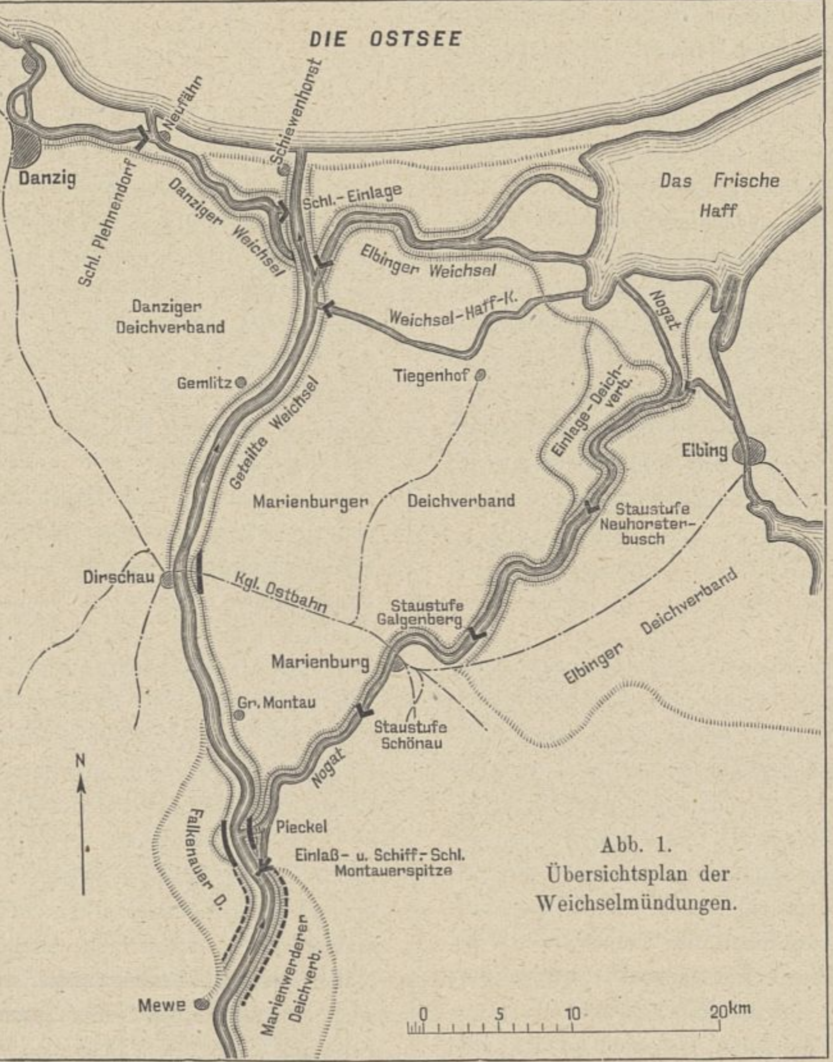


Abb. 1. Übersichtsplan der Weichselmündungen.

Der Krieg hat, abgesehen von der verlängerten Bauzeit, den Bauarbeiten sein Merkmal aufgedrückt. Schien es doch im ersten Kriegsjahr beim Einfall der Russen in Ost- und Westpreußen, als ob der Abschluß der Nogat auf lange Zeit unterbleiben müsse. Dann kam die Schlacht bei Tannenberg unter Hindenburgs ruhmreicher Führung; damit war die Gefahr eines weiteren Vordringens des Feindes bis an die Weichsel behoben. Die Nogatabschlußarbeiten konnten in der Folgezeit, unbehelligt von den Kriegswirren, fortgesetzt werden. — Zunächst ein Rückblick auf die baulichen Maßnahmen im Mündungsgebiet vor dem Abschluß der Nogat. In den früheren Jahrhunderten war wiederholt eine günstigere Gestaltung der Weichselmündungen angestrebt, doch scheiterten alle Anläufe zu einer durchgreifenden Abhilfe an der politischen Gliederung des Landes; die Städte Danzig und Elbing arbeiteten gegeneinander, nachher waren der preußische Staat und das Königreich Polen die Gegner.

Den ersten Anstoß zu einem planmäßigen Ausbau des Weichseldeltas gab in der Mitte des vorigen Jahrhunderts der Bau der Eisenbahnbrücken über die Weichsel bei Dirschau und über die Nogat bei Marienburg (Jahrg. 1895 d. Zeitschr., S. 235 u. ff.). Durch Verordnung vom 12. April 1848 wurde ein Regulierungsplan zur Ausführung bestimmt, der die Wassermengen der geteilten Weichsel und der Nogat festzulegen suchte. Die Nogatabzweigung wurde damals von der Teilungsspitze um 4 km stromabwärts nach Pieckel verlegt. Durch den Weichsel-Nogat-Kanal sollte der Nogat nur ein Drittel der Mittelwassermenge der ungeteilten Weichsel zugewiesen werden. Zugleich suchte man den für die Nogat besonders gefährlichen Eisgang von ihr durch den Bau eines Eiswehres in dem neuen, im Trockenen hergestellten und ausgepflasterten Kanal fernzuhalten. Das hölzerne Eiswehr, mehrfach beschädigt und umgebaut, wurde im Jahre 1871 gänzlich zerstört und nicht wieder aufgebaut. Ein hinreichender Schutz für die Niederungen war nicht erzielt.

In den folgenden Jahrzehnten wurden verschiedene Regulierungspläne aufgestellt. Der Deichbruch bei Jonasdorf mit seinen Folgen für die Elbinger Niederung brachte die Ausbaupläne der Weichselmündungen erneut zum Leben. Auf Grund des Gesetzes vom 20. Juni 1888 wurde in den Jahren 1889 bis 1895 mit einem Kostenaufwand von rund 20 Mill. Mark durch den 7,1 km langen Durchstich von Siedlersfähre bis zur Ostsee bei Schiewenhorst und durch die Durchbauung der Danziger und Elbinger Weichsel an ihren Abzweigungen dem Weichselstrom eine ganz neue Mündung in die Ostsee gegeben (Text-Abb. 1). Gleichzeitig wurden die Stromdeiche bis Gemlitz aufwärts verlegt und verstärkt.[1]) — Bei dem weiteren Ausbau kam es darauf an, die ungünstigen Verhältnisse im Hochwasserbett der geteilten Weichsel von Gemlitz aufwärts bis zu der Abzweigung der Nogat bei Pieckel zu beseitigen. Durch das Gesetz vom 25. Juni 1900 wurden rd. 11 700 000 Mark hierzu bewilligt. Die Bauausführung, hauptsächlich Deichverlegungen und Verstärkungen sowie Vorlandabgrabungen, erfolgte in den Jahren 1901 bis 1907.[2])

1) Vgl. Zentralbl. der Bauverwaltung, Jahrg. 1895, S. 133.
2) Vgl. ebenda Jahrg. 1911, S. 565.

Der Weichselstrom war jetzt von Pieckel abwärts so weit vorbereitet, daß er das gesamte Hochwasser und besonders den ganzen Eisgang der Weichsel ohne Nachteil für die angrenzenden Niederungen aufnehmen konnte. Der Schlußstein in dem Ausbau der Weichselmündungen konnte gelegt, die Nogat hochwasserfrei von der Weichsel abgeschlossen werden, wodurch die Nogatniederungen dauernd gegen Hochwasser- und Eisgefahren geschützt werden. Durch das Gesetz vom 20. Juli 1910 (Zentralbl. d. Bauverw. 1910, S. 462) wurden der Staatsregierung 18106000 Mark für die Durchdeichung der Nogat bei Pieckel einschl. ihrer Kanalisierung und der Verstärkung von Deichen an der Weichsel zur Verfügung gestellt. Ferner war in dem Gesetz die Erweiterung der Dirschauer Brücken vorgesehen.

I. Erweiterung der Dirschauer Brücken.

Das Hochwasserbett der geteilten Weichsel war von Pieckel abwärts vollständig ausgebaut; die Breite zwischen den Deichen beträgt durchgehends 1000 m und darüber. Nur an den Dirschauer Brücken war noch eine beträchtliche Einengung geblieben, da die Brücken mit sechs Öffnungen nur eine Gesamtlichtweite von 727 m aufweisen. Sollte nun die Nogat hochwasser- und eisfrei abgeschlossen werden, so mußte der Hochwasserquerschnitt an den Brücken entsprechend verbreitert werden. Die Erweiterung der Brücken wurde damit die erste Arbeit des Nogatabschlusses (Abb. 2 Bl. 27).

Der Zugverkehr auf der wichtigen Eisenbahnlinie Berlin-Königsberg durfte naturgemäß durch den Erweiterungsbau der Eisenbahnbrücke möglichst wenig gestört werden. Es ist daher von dem ursprünglichen Plan, zwei Öffnungen mit der Pfeilerentfernung der alten Brücken (118 m) anzuordnen, aus Zweckmäßigkeitsgründen abgegangen. Statt dessen sind drei neue Öffnungen von je 78,82 m lichter Weite zur Ausführung gelangt. Natürlich mußte darauf Bedacht genommen werden, die Endportale der beiden Brücken, jedes in seiner Eigenart ein Beispiel früherer Bauweise, bestehen zu lassen. Das bisherige, beiden Brücken gemeinsame Landwiderlager ist daher zu einem Strompfeiler umgebaut. Die beiden anderen neuen Pfeiler sind, wie bei den bestehenden Brücken, getrennt für jede Brücke; das neue Landwiderlager ist wieder beiden Brücken gemeinsam. Um den Beschauer sogleich auf die nachträgliche Brückenerweiterung hinzuweisen, ist für den neuen eisernen Überbau ein von den alten Überbauten gänzlich verschiedenes System, ein Parallelträger neuerer Bauart, gewählt. Die tiefe Gründung der Pfeiler (bis 7,36 m unter Mittelwasser) machte ein Absenken mit Preßluft erforderlich; es kamen hölzerne Senkkästen zur Anwendung. Die eisernen Überbauten für die beiden östlichen (letzten) Öffnungen wurden an Ort und Stelle zusammengesetzt, während der Überbau für die Öffnung neben dem alten Landwiderlager seitlich aufgebaut wurde, um den Eisenbahnverkehr auf ausgeschwenkten Gleisen aufrecht erhalten zu können. In der Nacht vom 16. bis 17. November 1912 wurde der fertige Überbau in die Brückenflucht eingeschoben, wobei er quer und längs der Brückenachse bewegt und dann noch gesenkt werden mußte.

Die Gründung der neuen Pfeiler für die Straßenbrücke erfolgte ebenfalls mit Preßluft auf hölzernen Senkkästen. Der Straßenverkehr wurde während des Baues der Pfeiler und der Aufstellung der eisernen Überbauten auf einer neu geschütteten Hilfsrampe an der Baustelle vorbei geleitet. Die Herstellung der Deichanschlüsse an das neue Landwiderlager mußte zeitweise unterbrochen werden, weil wegen der häufigen Hochwasser im Jahre 1913 kein Boden aus dem Vorlande entnommen werden konnte. Zur Gewinnung des noch fehlenden Bodens wurde die Hilfsrampe vorzeitig abgebaut und der Verkehr während der letzten Arbeiten am eisernen Überbau über den neuen Teil der Straßenbrücke und vorübergehend auf die neu hergestellte Militärrampe nördlich der Eisenbahnbrücke geführt, wobei die Gleise in Schienenhöhe gekreuzt wurden. Am neuen Portal sind als künstlerischer Schmuck Wappenschilde der Ordensmeister des Deutschen Ritterordens angebracht; sie weisen den Beschauer auf das glanzvolle Ordensschloß Marienburg hin, das in der Ferne sichtbar ist.

Die Erweiterung der Dirschauer Brücken brachte es mit sich, den rechtsseitigen Deich der Marienburger Niederung von Stromkilometer 188,8 bis 191,4 zurückzuverlegen. Ferner mußte das Vorland vor Ließau abgegraben werden, um den ober- und unterhalb der Brücken früher hergestellten Hochwasserquerschnitt zu erhalten. Im Zusammenhang mit der Deichrückverlegung mußte auch ein Teil der Provinzialchaussee verlegt werden. Die zur Ausführung gebrachte Lösung dieser Aufgaben zeigt der Lageplan auf Abb. 2 Bl. 27.

Nach dem Statut des Weichsel-Nogat-Deichverbandes hat der planmäßige Weichseldeich eine Kronenbreite von 4,70 m, wasserseitig eine dreifache, landseitig eine zweifache Böschungsanlage. Die Deichkrone liegt 2,63 m über H. H. W.; 3,0 m unter Krone ist eine landseitige Deichberme von 5,0 m Breite angeordnet. Nach diesem Querschnitt ist der neue Deich ausgebaut. An ihn legt sich die zur Straßenbrücke führende Rampe der Provinzialchaussee; die Rampe hat ein Längsgefälle von 1 : 44. Ungünstig beeinflußt wurde der Baufortgang durch die dauernd hohen Wasserstände im Sommer 1913. Ferner mußten die Erdarbeiten bei Kriegsausbruch aus militärischen Gründen und wegen Arbeitermangel lange Zeit ruhen. Sehr bedeutungsvoll für den Baufortschritt war ferner der Gang der Grunderwerbsverhandlungen mit der Zuckerfabrik Liessau, deren Gelände zum Teil für die neuen Anlagen in Anspruch genommen werden mußte. Nach dem Nogatabschlußgesetz gingen die den Deichverbänden nach § 20 des Deichgesetzes vom 28. Januar 1848 zustehenden Rechte auf den Staat über. Hiernach ist bei Enteignung der „außerordentliche Wert" des Grund und Bodens bei Festsetzung der Entschädigung nicht in Anrechnung zu bringen. Bei den Verhandlungen mit der Zuckerfabrik entstand zwischen beiden Parteien Meinungsverschiedenheit über die Bestimmung des „gemeinen Wertes" des abzutretenden Geländes. Da Fabrikgelände in Frage kam, forderte die Zuckerfabrik einen anderen Preis, als den sonst bei der Bestimmung des „gemeinen Wertes" eines Grundstückes üblichen landwirtschaftlichen Wert. Sie machte dabei geltend, daß die Abtretung des Grund und Bodens auch eine einschneidende Änderung ihres Fabrikbetriebes zur Folge habe. Langwierige Verhandlungen führten schließlich zur Einigung, zur Zahlung einer Pauschsumme.

II. Abschluß der Nogat.

1. Durchbauung des Weichsel-Nogat-Kanals und Verlegung der anschließenden Weichseldeiche.

Das Spiegelgefälle im Weichsel-Nogat-Kanal betrug bei Mittelwasser 0,193 m/km, Mittelwassermenge 170 cbm/sek, Wasserspiegelbreite 118 m, mittlere Querschnittstiefe 2,40 m. Die Abdämmung sollte nach dem Entwurf durch zwei Querdämme aus Sinkstückunterlagen und Packwerkoberlagen erfolgen. Die Sperrdämme, 510 m voneinander entfernt, waren so anzulegen, daß die gepflasterten Sohlschwellen des Kanals als Sturzbett während des Baues dienten. Zur Minderung des Gefälles waren außerdem noch unterhalb der Sperrdämme Grundschwellen aus einer Sinkstücklage zu bauen. Im Stau der Sperrdämme sollte dann der Weichseldeich durch den Kanal geschüttet werden.

Zur Erweiterung des Hochwasserquerschnittes und zur günstigeren Gestaltung der Deichlinie bei Pieckel mußten die vorspringenden Deichecken, die sogenannten Kanalköpfe beseitigt, der anschließende Weichseldeich bis Stromkilometer 174 zurückverlegt werden (vgl. Lageplan Abb. 2 u. 9 Bl. 28). Der Neudeich unterhalb des Kanals wurde im Schutze des alten Weichseldeiches nach dem Normalprofil, wie bei Liessau, bis November 1913 hergestellt, der Deichboden wurde durch profilmäßige Abgrabung des Vorlandes gewonnen.

Zum besseren Anschluß der neuen Deichstrecke an die Kanalsohle wurde mit Hilfe eines Taucherschachtes und danach mit Greifbaggern ein mindestens 10 m breiter Schlitz im alten Sohlenpflaster des Kanals an der Deichbaustelle hergerichtet. Niedrige Wasserstände im Sommer 1914 ließen zum letztenmal die Reste des ehemaligen Eiswehres sichtbar werden; sie sind danach beim Bau des Abschlußdeiches überschüttet. Text-Abb. 2 zeigt die Reste der Spundwand und der Wehrböcke.

Im April 1914 wurde der Bau von Sinkstücken für die Sperrdämme und Grundschwellen begonnen. Durch die Sperrdämme mußte so lange Wasser in die Nogat eingelassen werden, bis das Einlaßbauwerk bei Montauerspitze und die tote Nogat (vgl. Lageplan Text-Abb. 1) das für den Bau- und Baggerbetrieb in der Nogat nötige Wasser liefern konnte. Daher wurden in den beiden Grundschwellen und im unteren Sperrdamm Lücken von 12 bis 20 m Breite ohne besondere Seitensicherung offen gelassen, während der obere Sperrdamm einen festen Durchlaß von 12 m lichter Weite erhielt, der das Einbringen des Schlußstückes bei der immer heftiger gewordenen Strömung erleichtern sollte. Am 27. Juli 1914 wurde der Durchlaß im oberen Sperrdamm durch ein Paßsinkstück und Packwerk geschlossen. Hierdurch war die Nogatströmung abgesperrt.



Abb. 2. Überreste des alten Eiswehres im Weichsel-Nogat-Kanal.

Der Kriegsausbruch brachte dem Abschluß der Nogat zunächst ein jähes Ende. Auf Befehl der Heeresverwaltung, die einen stärkeren Wasserzufluß zur Nogat wünschte, als durch das Einlaßbauwerk und die unfertige tote Nogat-Wasserstraße damals geleistet werden konnte, mußten die Sperrdämme und Grundschwellen auf 50 m Breite wieder aufgerissen werden. Damit schien der hochwasserfreie Abschluß der Nogat, von den Niederungsbewohnern sehnsüchtig erwartet, für den Winter 1914/15 aussichtslos. Inzwischen war jedoch durch die Schlacht bei Tannenberg und die weiteren Erfolge die Kriegszone weiter von der Weichsel und Nogat verschoben. Nachdem auf Betreiben der Strombauverwaltung das Gouvernement Graudenz das Schließen des Weichsel-Nogat-Kanals wieder erlaubt hatte — am Einlaßbauwerk waren Maßnahmen zum Einlassen größerer Wassermengen getroffen, die tote Nogat war durch Baggerungen leistungsfähiger gemacht — wurde die Lücke im oberen Sperrdamm Anfang November 1914 wieder geschlossen. Bei der vorgerückten Jahreszeit war natürlich an einen hochwasserfreien Abschluß im Zuge und in der Stärke des geplanten Neudeiches nicht zu denken. Man entschloß sich daher zur Ausführung eines Notdeiches senkrecht zu den beiden Kanalufern im Anschluß an den Sperrdamm. Der Notdeich mit 5 m Kronenbreite, dreifacher Außen- und zweifacher Binnenböschung wurde bis 1 m über Hochwasser geführt. Mitte Februar 1915 — ungewöhnlich mildes Winterwetter begünstigte die Arbeiten — war der Notdeich fertig mit Rauhwehr abgedeckt. Acht Tage später trat in der Weichsel Hochwasser ein, der Notdeich mußte einem Überdruck von 5,3 m standhalten; die Probe hat er glänzend bestanden.

Im Laufe der Jahre 1915/16 ist der planmäßige Neudeich durch den Weichsel-Nogat-Kanal ausgeführt, sowie die Vorschüttung vor dem Neudeich zur Sicherung des Deichfußes. Die im Entwurf geplante Wegeverbindung über den unteren Sperrdamm an Stelle der eingegangenen Nogatfähre fand eine für den Verkehr bequemere Lösung über den Notdeich. So ist aus der Not eine Tugend gemacht, der Notdeich bleibt ein dauerndes Wahrzeichen des Weltkrieges.

2. Folgeeinrichtungen an der Weichsel.

Nach dem Abschluß der Nogat kommen auch diejenigen Wassermengen, die bis dahin durch die Nogat abgeführt wurden, in der „geteilten Weichsel" zum Abfluß. Durch die vermehrte Wasserführung ist zunächst, wenn auch vorübergehend, bei Pieckel eine Erhöhung der Wasserstände in der Weichsel zu erwarten, da sich das Strombett dem neuen Zustand nicht sofort anzupassen vermag. Rechnerisch war bei höchstem Hochwasser die Hebung bei Pieckel zu höchstens 1 m, deren Stauweite bis in die Gegend von Mewe, d. h. 11 km stromaufwärts von Pieckel festgestellt. Wollte man daher die gleiche Sicherheit bei Hochwasser- und Eisgefahr wie bisher beibehalten, so mußte eine Verstärkung und Erhöhung der Weichseldeiche oberhalb Pieckel vorge-

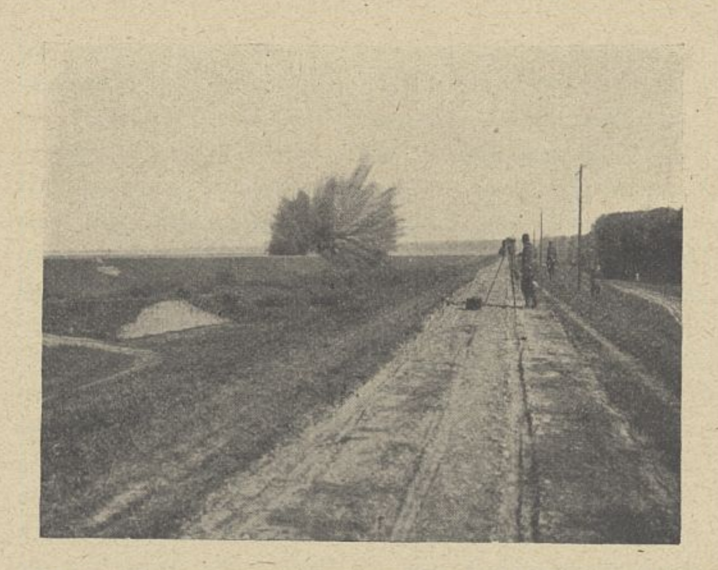


Abb. 3. Versuchssprengung im alten Weichseldeich unterhalb des Weichsel-Nogat-Kanals.

nommen werden. Es ist deshalb der Falkenauer Deich von 168,8 km, wo die Hochwasserregulierung Gemlitz-Pieckel seinerzeit aufhörte, bis zum Deichanschluß an die Warmhöfer Höhen, sowie der Marienwerderer Deich von Montauerspitze bis Kleinfelde nach dem Normalprofil für die Weichseldeiche (vgl. bei Liessau) ausgebaut. Lageplan Abb. 1 u. 2 Bl. 28 zeigt die Weichselstrecke von Warmhof bis Montau. Die Deichverstärkungen wurden meist nach der Stromseite zu vorgenommen, weil binnendeichs am Deich Landstraßen entlang führen. Durch die Abgrabung des Vorlandes wurde gleichzeitig eine Regelung des Außendeiches nach dem Hochwasserquerschnitt erzielt. Zur Durchführung dieses Planes mußten auf dem linken Weichselufer in den Gemarkungen Roßgarten und Küche rund 234 ha Privateigentum durch den Staat erworben werden. Die Deicharbeiten erlitten besonders auf der Marienwerderer Seite häufig unliebsame, langandauernde Störungen durch Hochwasser, namentlich im Jahre 1913. Auch verzögerte der Kriegsausbruch mit dem dadurch hervorgerufenen Arbeitermangel die Fertigstellung der Arbeiten am Marienwerderer Deich.

Infolge des hochwasserfreien Abschlusses der Nogat erhält der Querdamm von Montauerspitze bis Weißenberg und das in ihm erbaute „Große Siel“ — bisher die Abdämmung der Marienwerderer Niederung gegen Hochwasser von der Nogat her — eine erhöhte Bedeutung für die baulichen Anlagen in der Nogat und für die Nogatniederungen. Für den Marienwerderer Deichverband besteht im Deichstatut die Verpflichtung, im Falle eines oberhalb eintretenden Deichbruches den Weichseldeich bei Rudenerweide, rund 4 km oberhalb Montauerspitze, zu werfen, damit das in die Niederung eingedrungene Bruchwasser nicht den Querdamm und das Große Siel gefährdet und in die Nogat eindringt. Die Krone des Querdammes, immer höher gehalten als der oberhalb anschließende Weichseldeich, ist deshalb aus Sicherheitsgründen 0,50 m höher gelegt. Da unter denkbar ungünstigsten Verhältnissen nach dem Nogatabschluß ein Überdruck von etwa 12 m auftreten kann, soll das Große Siel verstärkt werden, eine Arbeit, die in einem Zuge in kurzer Zeit ausgeführt werden muß und deshalb bis nach dem Kriege verschoben ist. Bei den Verhandlungen mit den Deichverbänden entstand die Frage, welche Maßnahmen zum „Werfen“ des Weichseldeiches im Notfalle zu treffen seien. Um sich ein Bild von der Wirkung einer Sprengung des Deiches zu machen, wurde im abzutragenden Weichseldeich unterhalb Pieckel eine Versuchssprengung vorgenommen. Text-Abb. 3 und 4 zeigen die Sprengung und den damit erzielten Sprengtrichter.

Im Zusammenhang mit der Durchdämmung der Nogat und der Rückverlegung des rechtsseitigen Weichseldeiches unterhalb Pieckel mußte auf dem gegenüberliegenden Ufer eine Deichverlegung und Verstärkung bei Falkenau und Mösland vorgenommen werden (vgl. Lageplan Abb. 2 Bl. 28). Die starke Einbuchtung des Falkenauer Deiches war für eine glatte Abführung des Hochwassers und Eisganges um so weniger günstig, als sich bei Pieckel die Normalbreite des Mittelwasserbettes von 375 m auf 250 m verringert. Der Neudeich vor Falkenau hat eine Länge von 2,34 km, der Mösländer Deich ist auf eine Länge von 1,32 km nach dem Normalprofil binnendeichs verstärkt.

Unterhalb Pieckel bis zur Mündung machte die vorübergehende Hebung des Wasserstandes, abgesehen von der Beseitigung der Deichenge an den Dirschauer Brücken, keine weiteren unmittelbaren baulichen Maßnahmen erforderlich. Die Hebung der Wasserstände nimmt stromabwärts allmählich ab; sie wird nur so lange dauern, bis das Bett der Weichsel sich infolge des vermehrten Wassers entsprechend vertieft haben wird. Während der Übergangszeit steht jedoch eine Vermehrung des Drängewassers in den eingedeichten Niederungen zu erwarten. Den Deichverbänden waren daher zum Ausgleich im Gesetz Geldbeträge ausgeworfen für Maßnahmen, welche die Beseitigung oder Verhütung von Schäden bezwecken. Der Falkenauer Deichverband hat die Summe für Verbesserung der Binnenwasserzüge, sowie für Vergrößerung und Neubau seiner Schöpfwerke verwendet. Der Danziger und der Marienburger Deichverband haben bislang noch keine besonderen Maßnahmen getroffen.

In der Weichselmündung selbst wurde eine einmalige verstärkte Baggerung vor der Durchdämmung der Nogat für notwendig erachtet, um den vermehrten Hochwasser- und Eismengen in der Mündung und auf der Barre keinen Anlaß zu Eisversetzungen zu geben. Die verstärkte Baggerung konnte trotz Kriegsausbruch im Herbst 1914 vorgenommen werden.



Abb. 4. Sprengtrichter.

3. Folgeeinrichtungen an der Nogat.

Die geringen eigenen Zuflüsse des Nogatgebietes würden für gewöhnlich nicht genügt haben, nach der Durchdämmung der Nogat eine schädliche Absenkung des Grundwassers in den Nogatniederungen zu verhindern. Deshalb mußten in der Nogat Staustufen hergestellt und durch eine Einlaßschleuse im Weichseldeich dauernd Wassermengen der Nogat zugeführt werden. Der für die Landwirtschaft nötige Einbau von Staustufen bot auch die Möglichkeit, für die Schiffahrt wieder günstigere Bedingungen auf der Nogat zu schaffen. Es war daher im Gesetz vorgesehen, die Nogatwasserstraße für 400 t-Kähne in Übereinstimmung mit dem für den Ausbau der Oder-Weichselstraße festgesetzten Ziele einzurichten.

Für die Anzahl und Lage der Staustufen waren in erster Linie die Forderungen der Landeskultur maßgebend. Die drei Staustufen liegen bei Schönau, am Galgenberg unterhalb Marienburg und bei Horsterbusch (vgl. Lageplan Text-Abb. 1). In Haltung Schönau liegt der gewöhnliche Wasserstand auf +6,70 m N.N., in Haltung Galgenberg auf +4,60 m N.N. und in Haltung Horsterbusch auf +2,00 m N.N. Unterhalb Horsterbusch liegt der Wasserspiegel in Höhe des Wasserstandes des Frischen Haffes. Nach Bedarf kann der Wasserspiegel in den Haltungen noch um 0,50 und 0,80 m angespannt werden. Durch die Einlaßschleuse sollte aus der Weichsel so viel Wasser entnommen werden können, daß unter gewöhnlichen Verhältnissen ständig 25 cbm/sek, größte Abflußmenge der Liebe (Marienwerderer Niederung) und des Mühlengrabens bei Marienburg, zum Abfluß gelangen. Es sollte aber auch möglich sein zeitweise — aus Rücksicht auf Landeskultur, Fischerei und Landesverteidigung — bis zu 80 cbm/sek aus der Weichsel zu entnehmen.

Einlaßbauwerk bei Montauerspitze, Ausbau der toten Nogat.

Die Einlaß- und Schiffschleuse wurden zu einem Bauwerk bei Montauerspitze vereinigt (vgl. Lageplan Abb. 1 Bl. 27). Die Lage des Bauwerkes ermöglichte die Ausführung im Schutze des Weichseldeiches. Der alte Liegehafen konnte zur Verbindung mit der Weichsel, die tote Nogat als Schiffahrtstraße zur Nogat wieder benutzt werden; sie hatte rd. 60 Jahre ein stilles Dasein gehabt. Auch wurde bei dieser Lage des Einlaßbauwerkes jeder Eingriff in die Verhältnisse der Marienwerderer Niederung vermieden.

Entsprechend den Abmessungen der 400 t-Schiffe von 55 m Länge, 8 m Breite bei 1,40 m Tiefgang hat die Schiffschleuse, wie die übrigen Nogatschleusen, eine nutzbare Kammerlänge von 57,4 m erhalten; die lichte Weite ist zur gleichzeitigen Durchschleusung mehrerer kleiner Fahrzeuge auf 9,60 m festgesetzt. Mit Rücksicht auf niedrige Weichselwasserstände sind die Drempel auf +4,00 m N.N. gelegt. Um bei sehr niedrigen Wasserständen ein Abströmen des Wassers aus der Haltung Schönau nach der Weichsel zu vermeiden, ist die Schleuse außer mit größeren, gegen die Weichsel kehrenden Betriebstoren (O.K. = +10,8 m N.N.) auch mit kleineren Schleusentoren (O.K. = + 8,4 m N.N.) versehen, die nach der Nogathaltung kehren. Zum Schutze gegen Hochwasser und Eis mußte außer den Betriebstoren noch ein Schutztor eingebaut werden; dies tritt nur bei Hochwasser und Eis in Tätigkeit, wo die Schiffahrt ruht.

Neben der Schiffschleuse liegt die Einlaßschleuse, drei überwölbte Öffnungen von je 11 qm Querschnitt. Die Öffnungen haben eine lichte Weite von 3,75 m, eine lichte Höhe von 2,50 m bis zum Kämpfer und von 3,15 m bis zum Scheitel.

Das Einlaßbauwerk, im August 1912 begonnen, war im Mauerwerk im Herbst 1913 fertiggestellt. Bis zum Kriegsausbruch war der alte Weichseldeich vor dem Bauwerk abgetragen, der Ausbau des Außenhafens in Arbeit und der Durchstich von der toten Nogat zur Nogat fast fertiggestellt. Da brachte auch hier der Krieg einschneidende militärische Forderungen mit sich. Die Bewegungsvorrichtungen der Notschützen für die Einlaßschleuse mußten wieder ausgebaut werden; die Schützen wurden zur Wasserregelung von Hand bewegt. Auch bei der Schiffschleuse mußten Vorkehrungen getroffen werden, um im Notfalle auch durch die Schleuse nach Ausbau der Dammbalken Wasser in die Nogat einlassen zu können. Die Ausbaggerung der 20 m breiten Schiffahrtsrinne in der toten Nogat war mit Hochdruck zu betreiben, um den Wasserzufluß zur Nogat noch zu vergrößern. Erst als die Kriegslage den Bau des Notdeiches im Weichsel-Nogat-Kanal im November 1914 zuließ, durften die Bewegungsvorrichtungen der Notschützen wieder eingebaut werden. Die Schiffschleuse blieb durch Dammbalken hochwasserfrei abgeschlossen. Der weitere Einbau der Verschlußvorrichtungen fand im Jahre 1915 statt.

Das Einlaßwehr hat einen doppelten Schützverschluß erhalten; die Betriebs- sowie die Notschützen wurden als eiserne Rollschützen von 3,18 m Höhe und 3,75 m Breite mit Gegengewichten ausgebildet. Da ein möglichst dichter Abschluß zur Wasserersparnis nicht in Frage kam, konnte von der sonst üblichen Feder- oder Lederabdichtung abgesehen werden. Die Dichtung wurde aus zwei Winkeleisen hergestellt, deren freie Schenkel schräg zugeschnitten wurden, so daß in der Schlußstellung sich diese beiden Schenkel mit einem Spalt von 3 mm gegenüberstehen. Als Bewegungsvorrichtung wurden flachgängige Schraubenspindeln gewählt.

Die Tore der Schiffschleuse sind als Stemmtore mit gekrümmter Blechhaut und Diagonalkreuz gebaut. Die Torflügel des Hochwasserschutztores haben die außergewöhnliche Höhe von 14,38 m; besondere Schwierigkeiten beim Aufrichten dieser Torflügel entstanden jedoch nicht. Text-Abb. 5

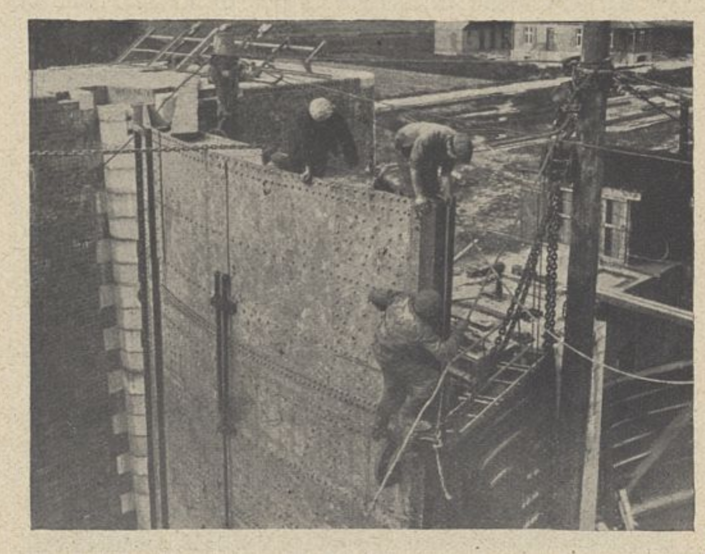


Abb. 5. Aufrichten des linken Schutztorflügels der Schleuse Montauerspitze.

zeigt den linken Schutztorflügel beim Aufrichten. Am 1. Januar 1916 war die Schiffschleuse betriebsfähig.

Die Brücke über den Durchstich von der Toten Nogat zur Nogat ist in Eisenbeton als Dreigelenkbogenbrücke mit Entlastungsbogen ausgebildet. Text-Abb. 6 gibt ein Lichtbild der fertigen Brücke, sie erhielt den Namen „Jagowbrücke".

An der stromauf gelegenen Einfahrtsecke des Außenhafens Montauerspitze ist eine Abweisbuhne gebaut, um die Hafeneinfahrt möglichst von Versandungen freizuhalten. Eine endgültige Lösung für die Ausbildung der Hafeneinfahrt kann erst mit der allgemeinen Stromregelung der Weichsel von Montauerspitze bis Pieckel vorgenommen werden.

Der Ausbau der Nogat.

Die drei Staustufen bestehen je aus einem Staudamm mit einem Wehr und Fischpaß, sowie einer Schiffschleuse. Da mit dem Bau der Wehre und Schleusen vor der Durchdämmung des Weichsel-Nogat-Kanals begonnen wurde, die Bauwerke also während der Bauzeit dem Hochwasser und Eisgang ausgesetzt waren, mußten sie zum Schutze in Buhnenfelder gelegt werden. Spundwandoberkante durfte daher auch nicht über Buhnenkrone reichen. Dies gab Veranlassung zu sehr häufigen, teilweise langen Arbeitspausen wegen Überflutung der Baustellen; so mußte die Bauarbeit im Jahre 1913 vom 10. Juli ab bis zum Winter wegen dauernd hoher Wasserstände ruhen. Eine weitere Verzögerung trat dadurch ein, daß die Firma, der die Bauausführung der Wehre und Schleusen in Schönau und Galgenberg übertragen war, zahlungsunfähig wurde. Der Ausbruch des Krieges brachte allen Arbeiten auf Monate ein Ende. Die von der Fortifikation Marienburg beschlagnahmten Baustoffe mußten erneut beschafft werden, was bei dem Kriegszustand schwierig war. Waren vordem die häufigen hohen Wasserstände für den Baubetrieb in der Nogat sehr hinderlich gewesen, so machte sich im Baujahr 1915, nachdem die Nogat bei Pieckel hochwasserfrei abgeschlossen war, die Bauten in der Nogat gegenüber dem Bauplan aber sehr zurückgeblieben waren, die Abhängigkeit von den niedrigen Weichselwasserständen sehr fühlbar. Es war zeitweise nicht möglich, genügend Wasser in die Nogat einzulassen, um die Baustoffe auf Prähmen heranzuschaffen und die Baggergeräte von einer Baustelle zur andern zu verlegen. Mußten doch die Ober- und Unterkanäle der Wehre und Schleusen vor Inangriffnahme der Staudämme hergestellt sein, damit der Durchfluß des Wassers durch die Wehre erfolgen konnte und ein Befördern der Baustoffe und Baugeräte durch die Schleusen möglich war.

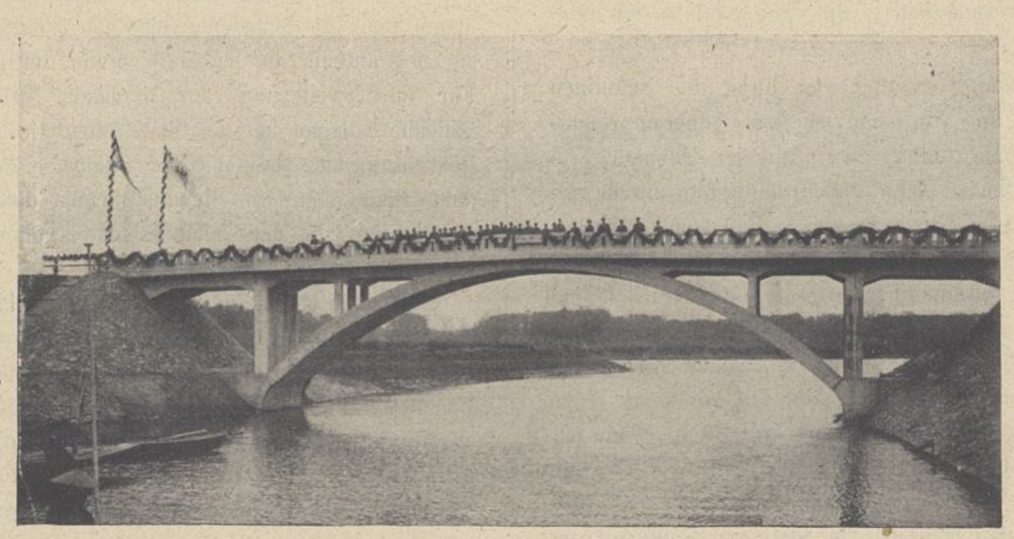


Abb. 6. Eisenbetonbogenbrücke über den Durchstich. „Jagowbrücke."

Die Nogatschleusen haben, wie die Schiffschleuse bei Montauerspitze, eine nutzbare Kammerlänge von 57,4 m, eine lichte Weite von 9,60 m erhalten. Die Drempel liegen 2,50 m unter gewöhnlichem Stau; Oberdrempel Schönau liegt in gleicher Höhe mit den Drempeln in Montauerspitze, also 2,70 m unter gewöhnlichem Stau. Unterdrempel Horsterbusch ist mit Rücksicht auf niedrige Haffwasserstände 2,75 m unter Mittelwasser des Haffes gelegt. Die Obertore der Schleusen sind als eiserne Pfostentore, die Untertore als Riegeltore ausgebildet. Zur Erprobung ist bei einigen Torpaaren die Stützenlagerung nach dem Patent des Regierungsbaumeisters Buchholz eingebaut. Als Verschluß der Umläufe sind eiserne Rollschütze mit Gegengewicht und Zugstangenantrieb zur Ausführung gelangt; die Dichtung erfolgt durch ein Eisenblech.

Die Wehre haben bei einem Mittelpfeiler zwei Öffnungen mit je 4,50 m lichter Weite. Die Öffnungen werden durch je zwei Rollschütztafeln übereinandergeschlossen. Der Betrieb ist so eingerichtet, daß die obere Schütztafel bei Abfluß der gewöhnlichen Wassermengen (25 cbm/sek) und normalem Stau ganz hinuntergelassen ist. Bei größerer Wasserführung und normalem Stau werden beide Schütztafeln der Wasserführung entsprechend hochgezogen, das Wehr wirkt dann als Grundablaß. Soll die Höchstmenge von 80 cbm/sek abgeführt werden, so muß die ganze Wehröffnung frei gelegt werden. Außerdem muß dann ein Teil der Wassermenge noch durch die Schleusen abgeführt werden. Zu diesem Zweck sind außer den Umläufen noch Schützöffnungen in den Schleusentoren eingebaut. Bei diesem Abflußvorgang wird dann nicht mehr der normale Stau gehalten, sondern es wird sich in der Nogat ein der Wasserführung entsprechendes Gefälle einstellen. Die Staustufen selbst werden dabei einen gewissen Stau hervorrufen.

Die Fischpässe sind mit Rücksicht auf den späteren Bau von Kraftanlagen neben den Wehren in die Landpfeiler gelegt.

Die Staudämme von 122 m Länge zwischen Schleuse und Wehr sind im Schutze von Packwerkdämmen aus gutem Deichboden geschüttet. Die Krone ist 5 m breit und liegt 1 m über dem angespannten Wasserspiegel. An der Oberwasserseite hat die Böschung eine Neigung 1 : 3. Die Breite und Höhenlage der Berme nach dem Unterwasser zu ist so bemessen, daß die Gefällinie des etwa durchsickernden Wassers vom Ober- nach dem Unterwasser stets innerhalb des Dammkörpers verbleibt. Als Gefälle für das durchsickernde Wasser ist die Neigung 1 : 8 angenommen. Die Böschungen sind in Höhe des Wasserspiegels gegen Beschädigung durch Wellenschlag mit Steinwurf oder Faschinenabdeckung geschützt.

Die Lage der neuen Schiffahrtsrinne von 2 m Wassertiefe bei 20 m Sohlenbreite wurde, soweit möglich, dem früheren Talweg des Stromes angepaßt. Zu Beginn der Baggerungen in den Haltungen, die nach Anstau der Haltungen vorgenommen wurden, zeigte es sich, daß noch viel Sand im Strombett in Bewegung war. Hierdurch wurden des öfteren Nachbaggerungen in der neuen Schiffahrtsrinne erforderlich.

Ent- und Bewässerungsanlagen an der Nogat.

An den Staustufen liegt die Möglichkeit vor, die in der Nähe liegenden tieferen Grundstücke im Vorlande nach dem Unterwasser zu entwässern, die unterhalb gelegenen höheren Ländereien vom Oberwasser her anzufeuchten. Bei der Staustufe Horsterbusch sind zwei größere Ent- und Bewässerungsanlagen im Verbandsgebiet des Elbinger und Einlager-Deichverbandes zum Teil ausgeführt, zum Teil noch in der Ausführung.

Auf dem rechten Nogatufer war durch den ständigen Stau der Haltung im Vergleich zu den früheren Nogatwasserständen in dem tiefliegenden Teil der Elbinger Niederung längs des Deiches eine Beeinträchtigung durch vermehrtes Drängewasser zu erwarten. Um dem etwaigen Schaden zu begegnen, sind die am Deich entlang führenden Gräben miteinander verbunden, verbreitert und vertieft und haben ihre Vorflut mittels eines Deichsieles nach dem Unterwasser erhalten. Gleichzeitig gelangt das Niederschlagwasser von 393 ha Ländereien, das bis dahin auf weiterem Wege zum Elbingfluß abgeführt wurde, auf kürzestem Wege zur sogenannten Haffhaltung, was eine große Vorflutverbesserung bedeutet. Das im Gesetz vorgesehene Schöpfwerk ist fortgefallen, weil der Bau sich bei der geringen Häufigkeit der die Vorflut schädigenden Wasserstände der Haffhaltung als nicht wirtschaftlich erwies.

Auf der anderen Seite der Nogat beginnt bei Horsterbusch das Einlagegebiet. Dieses Deichverbandsgebiet hatte für die Nogat bisher seine besondere Bedeutung. Zur Entlastung der unteren Nogat hatte man in den Deichen des Einlagegebietes mehrere Überfälle und Ausfälle eingerichtet, die, während des Winters geöffnet, beim Eisaufbruch dem Wasser und Eis den Eintritt in das Einlagegebiet ermöglichten. Das Gebiet war dem Eisgang und Hochwasser von der Nogat und vom Haff her ausgesetzt. Im Laufe der Zeit hatte sich das Land im oberen Teile um mehr als 2 m, im unteren Teil um mehr als 1 m erhöht. Die obere Einlage konnte nur als Weideland benutzt werden, die landwirtschaftliche Nutzung des unteren Teiles blieb unsicher. Hierin hat der Notgatabschluß eine große Umwälzung gebracht; das Land kann jetzt in ertragreichere Nutzung genommen werden. Anderseits fehlt die düngende Wirkung der Überflutung, auch wird die dauernde Absenkung des Wasserstandes in der Nogat unterhalb Horsterbusch eine schädliche Senkung des Grundwassers im oberen Teile der Einlage zur Folge haben. Um diesen Schädigungen zu begegnen, wird mittels eines Pumpwerkes Wasser aus der Haltung Horsterbusch um rd. 2 m gehoben, um die obere Einlage (rd. 1000 ha) durch Einstauung anzufeuchten. Der unteren Einlage (rd. 750 ha) kann Wasser mit natürlichem Gefälle zugeführt werden. Da die untere Einlage besonders im Frühjahr unter zu hohem Wasserstand leidet, sind außerdem im Deiche drei Entwässerungssiele angelegt.

Nicht ohne Einfluß wird der hochwasserfreie Abschluß der Nogat auf die Fischerei im Frischen Haff sein. Zum Ausgleich der Nachteile sollen von Zeit zu Zeit größere Wassermengen (bis 80 cbm/sek) durch die Nogat gelassen werden. Auch ist geplant, vor den Mündungsarmen der Nogat und der Elbinger Weichsel in dem ausgedehnten Schilf- und Krautwuchs sich kreuzende Schneisen anzulegen. Der Nogatabschluß wird mehr eine Veränderung als eine Benachteiligung im Fischereibetriebe zeitigen.

Da der Abschluß der Nogat mit seinen Folgeeinrichtungen in erster Linie eine Deich- und Meliorationsunternehmung zum Schutze und Vorteile der Gebiete des Elbinger, Einlage- und Marienburger Deichverbandes ist, so sind im Gesetz diese Deichverbände als Bauherren bestimmt, denen damit auch die Schadenersatzpflicht obliegt. Außerdem haben sie sich anteilig an der Aufbringung der Baukosten beteiligt. Für die Erweiterung der Dirschauer Brücken als rein fiskalische Anlagen hat der Staat allein die Bauherrnpflicht und Bestreitung der Kosten übernommen. Nach dem Gesetz lag dem Staat auch die Bauausführung der übrigen Anlagen gegen eine von den Deichverbänden geleistete Pauschsumme von 3496686,07 Mark ob.

Die oberste Bauleitung lag in den Händen der Geheimen Oberbauräte Brandt und Reisse (†), und des Geheimen Baurats Soldan vom Ministerium der öffentlichen Arbeiten. Bauausführende Behörde war der Oberpräsident der Provinz Westpreußen (Weichselstrombauverwaltung). Unter den Strombaudirektoren, den Oberbauräten Gersdorff (†) und Niese waren die Regierungsbaumeister Graessner (jetzt Regierungs- und Baurat), Proetel, Salfeld und Procter bei der Strombauverwaltung mit der Bearbeitung der Nogatabschlußangelegenheiten betraut. Die Ausführung der Bauarbeiten erfolgte durch die Wasserbauämter Dirschau und Marienburg. Bauamtsvorstand in Dirschau waren während dieser Zeit die Bauräte Mundorf (†), Wulle (jetzt Regierungs- und Baurat) und Tillich, örtliche Bauleiter die Regierungsbaumeister Mohr, Momber, Jehn, Goede und Kiesow. Im Bezirk des Wasserbauamts Marienburg hatten unter dem Bauamtsvorstand Baurat Urban die örtliche Bauleitung die Regierungsbaumeister Lange (†), Becker, Lahr und Heinrich. Aus praktischen Gründen erfolgte die eigentliche Erweiterung der Dirschauer Brücken durch die Eisenbahnverwaltung (Eisenbahndirektion Danzig).

So hat mit dem hochwasserfreien Abschluß der Nogat das Werk seine Vollendung gefunden, das den im Weichseldelta liegenden Niederungen einen erhöhten Schutz gegen Hochwasser und Eisgang bieten soll. Insgesamt sind durch die genannten Gesetze vom 20. Juni 1888, vom 25. Juni 1900 und vom 10. Juli 1910 rd. 50 Millionen Mark hierfür zur Verfügung gestellt. Die Weichsel hat statt dreier Mündungsarme eine einzige Mündung in See erhalten; die untere Weichsel von Mewe abwärts ist so ausgebaut, daß sie die gesamten Hochwasser- und Eismengen ohne die früheren großen Gefahren für die Niederungen abführen kann. Im besonderen haben die Nogatniederungen vollen Deichschutz erhalten. — Neben vielen anderen Vorteilen, die der Nogat-

abschluß den Niederungsbewohnern bringen wird, ist besonders die Möglichkeit hervorzuheben, die an den drei Nogatstaustufen freiwerdenden Wasserkräfte in elektrische Kraft umzusetzen. Gerade bei den jetzigen wirtschaftlichen Verhältnissen wird die Versorgung mit elektrischem Strom dort in erhöhtem Maße willkommen geheißen werden. Die Verhandlungen über den staatlichen Bau der Nogatkraftwerke sind dem Abschluß nahe. Kommt es zu deren Bau, so werden sie ein wichtiges Bindeglied in dem großzügigen Plan, die Provinz Westpreußen allgemein mit Elektrizität zu versorgen.

Berechnung der Biegungsmomente infolge der Eisenbahnverkehrslast für durchlaufende Träger auf drei Stützen.

Vom Regierungs- und Baurat Dr.-Ing. Kommerell in Berlin.

(Schluß.)

III. Schaulinien der größten Biegungsmomente infolge der Verkehrslast bei durchlaufenden symmetrischen Trägern auf drei Stützen.

A. Einflußlinien.

Zur Berechnung der größten Momente M_x in beliebigen Querschnitten x der ersten Öffnung verwendet man am einfachsten die Einflußlinien. Die Eigenschaften der Einflußlinien sowie die Art ihrer Verwendung werden als bekannt vorausgesetzt.

1. Belastung in der Öffnung links.

Haben wir nur eine Last $P = 1$ t bei a in der Öffnung links, so ergibt sich das Moment $\mathfrak{M}_l^{\mathrm{I}}$ über der Mittelstütze zu

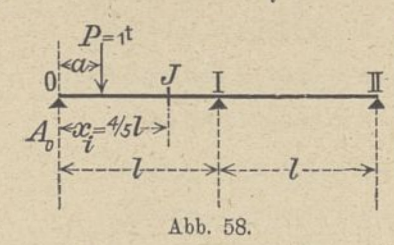


Abb. 58.

(72) $\mathfrak{M}_l^{\mathrm{I}} = -\frac{P}{4\,l^2}\cdot a(l^2 - a^2)$ und der Auflagerdruck A_0 zu

(73) $A_0 = \frac{1}{l}\left[\mathfrak{M}_l^{\mathrm{I}} + P(l-a)\right] = \frac{P}{4\,l^3}\left[a^3 - 5\,a\,l^2 + 4\,l^3\right]$

also mit $P = 1$ t für

$x \leqq a$ (74) $M_x = \frac{x}{4\,l^3}\left[a^3 - 5\,a\,l^2 + 4\,l^3\right]$ und für

$x \geqq a$ (75) $M_x = \frac{x}{4\,l^3}\left[a^3 - 5\,a\,l^2 + 4\,l^3\right] - (x - a)$.

Für einen unendlich kleinen Abstand d_a der Last $P = 1$ t von 0 wird aus Gl. (75) der Beitrag zum Moment M_x im Querschnitt x

$$M_x^{da} = \frac{x}{4\,l^3}\left[(da)^3 - 5\,l^2\,da\right] + da.$$

Abb. 59.

Die unendlich kleine Größe dritter Ordnung $(da)^3$ können wir gegenüber den übrigen Gliedern vernachlässigen und erhalten $M_x^{da} = -\frac{5}{4\,l}\cdot x\cdot da + da$. Dieser Beitrag wird $= 0$, wenn

$$-x\cdot\frac{5}{4\,l}\cdot da + da = 0 \quad \text{oder} \quad x_i = \frac{4}{5}\,l \text{ ist (Festpunkt } J).$$

Für Querschnitte rechts von J also $x > \frac{4}{5}l$ wird der Beitrag negativ. Für einen bestimmten Querschnitt $x > \frac{4}{5}l$ ergibt sich die Belastungsscheide a_m aus der Bedingung

$$M_x = \frac{x}{4\,l^3}\left[a^3 - 5\,a\,l^2 + 4\,l^3\right] - (x - a) = 0,$$

oder $a^3 x - 5\,a\,l^2 x + 4\,a\,l^3 = 0$,

also $a_m{}^2 = l^2\left(5 - 4\frac{l}{x}\right)$, $\quad a_m = l\sqrt{5 - 4\frac{l}{x}}$,

z. B. liegt für $x = \frac{10}{12}l$ die Belastungsscheide bei

$$a_m^{10} = l\sqrt{5 - 4\cdot 1{,}2} = l\sqrt{0{,}2} = 0{,}4472\,l.$$

Wir teilen die Stützweite l in 12 gleiche Teile, und es wird für $x \leqq a$ aus Gl. (74) für:

$a_1 = \frac{l}{12}: M_x^{a_1} = \frac{(12x)}{12\cdot 4\,l^3}\left[\frac{l^3}{1728} - \frac{5}{12}l^3 + 4\,l^3\right] = (12x)\cdot 0{,}07467$ mt

$a_2 = 2\cdot\frac{l}{12}: M_x^{a_2} = \frac{(12x)}{48\,l^3}\left[\frac{8\,l^3}{1728} - \frac{10}{12}l^3 + 4\,l^3\right] = (12x)\cdot 0{,}06607$ „

$a_3 = 3\cdot\frac{l}{12}: M_x^{a_3} = \frac{(12x)}{48\,l^3}\left[\frac{27\,l^3}{1728} - \frac{15}{12}l^3 + 4\,l^3\right] = (12x)\cdot 0{,}05762$ „

$a_4 = 4\cdot\frac{l}{12}: M_x^{a_4} = \frac{(12x)}{48\,l^3}\left[\frac{64\,l^3}{1728} - \frac{20}{12}l^3 + 4\,l^3\right] = (12x)\cdot 0{,}04938$ „

$a_5 = 5\cdot\frac{l}{12}: M_x^{a_5} = \frac{(12x)}{48\,l^3}\left[\frac{125\,l^3}{1728} - \frac{25}{12}l^3 + 4\,l^3\right] = (12x)\cdot 0{,}04144$ „

$a_6 = 6\cdot\frac{l}{12}: M_x^{a_6} = \frac{(12x)}{48\,l^3}\left[\frac{216\,l^3}{1728} - \frac{30}{12}l^3 + 4\,l^3\right] = (12x)\cdot 0{,}03386$ „

$a_7 = 7\cdot\frac{l}{12}: M_x^{a_7} = \frac{(12x)}{48\,l^3}\left[\frac{343\,l^3}{1728} - \frac{35}{12}l^3 + 4\,l^3\right] = (12x)\cdot 0{,}02671$ „

$a_8 = 8\cdot\frac{l}{12}: M_x^{a_8} = \frac{(12x)}{48\,l^3}\left[\frac{512\,l^3}{1728} - \frac{40}{12}l^3 + 4\,l^3\right] = (12x)\cdot 0{,}02006$ „

$a_9 = 9\cdot\frac{l}{12}: M_x^{a_9} = \frac{(12x)}{48\,l^3}\left[\frac{729\,l^3}{1728} - \frac{45}{12}l^3 + 4\,l^3\right] = (12x)\cdot 0{,}01400$ „

$a_{10} = 10\cdot\frac{l}{12}: M_x^{a_{10}} = \frac{(12x)}{48\,l^3}\left[\frac{1000\,l^3}{1728} - \frac{50}{12}l^3 + 4\,l^3\right] = (12x)\cdot 0{,}00858$ „

$a_{11} = 11\cdot\frac{l}{12}: M_x^{a_{11}} = \frac{(12x)}{48\,l^3}\left[\frac{1331\,l^3}{1728} - \frac{55}{12}l^3 + 4\,l^3\right] = (12x)\cdot 0{,}00389$ „

$a_{12} = 12\cdot\frac{l}{12}: M_x^{a_{12}} = \frac{(12x)}{48\,l^3}\left[\frac{1728\,l^3}{1728} - \frac{60}{12}l^3 + 4\,l^3\right] = (12x)\cdot 0.$

Für $x > a$ kommt überall noch $-(x - a)$ hinzu.

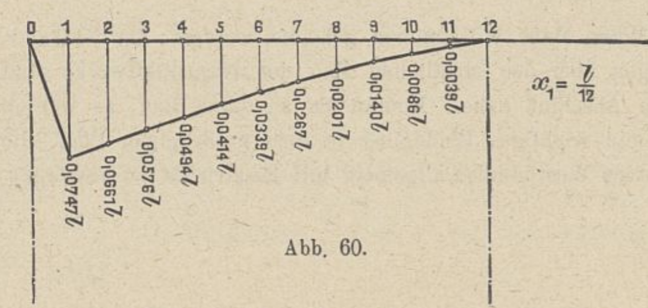


Abb. 60.

Es ergeben sich hiernach die Einflußlinien wie folgt:

a) Einflußlinie für $x_1 = \frac{1}{12}\, l$.

Es ist $12\, x_1 = 1 \cdot l$,

für $a_1 = 1 \cdot \frac{l}{12}$ wird $M^1_{x_1} = 0{,}0747\, l$ mt

„ $a_2 = 2 \cdot \frac{l}{12}$ „ $M^2_{x_1} = 0{,}0661\, l$ „

„ $a_3 = 3 \cdot \frac{l}{12}$ „ $M^3_{x_1} = 0{,}0576\, l$ „

„ $a_4 = 4 \cdot \frac{l}{12}$ „ $M^4_{x_1} = 0{,}0494\, l$ „

„ $a_5 = 5 \cdot \frac{l}{12}$ „ $M^5_{x_1} = 0{,}0414\, l$ „

„ $a_6 = 6 \cdot \frac{l}{12}$ „ $M^6_{x_1} = 0{,}0339\, l$ „

„ $a_7 = 7 \cdot \frac{l}{12}$ „ $M^7_{x_1} = 0{,}0267\, l$ „

„ $a_8 = 8 \cdot \frac{l}{12}$ „ $M^8_{x_1} = 0{,}0201\, l$ „

„ $a_9 = 9 \cdot \frac{l}{12}$ „ $M^9_{x_1} = 0{,}0140\, l$ „

„ $a_{10} = 10 \cdot \frac{l}{12}$ „ $M^{10}_{x_1} = 0{,}0086\, l$ „

„ $a_{11} = 11 \cdot \frac{l}{12}$ „ $M^{11}_{x_1} = 0{,}0039\, l$ „

„ $a_{12} = 12 \cdot \frac{l}{12}$ „ $M^{12}_{x_1} = 0$.

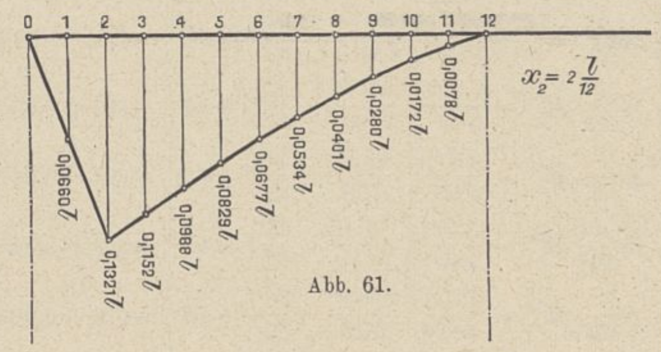


Abb. 61.

b) Einflußlinie für $x_2 = 2 \cdot \frac{l}{12}$

mit $12\, x_2 = 2\, l$ wird

$$M^1_{x_2} = 2 \cdot 0{,}07467\, l - \left(\overset{x_2}{2} \cdot \frac{l}{12} - \overset{a_1}{1}\frac{l}{12}\right) = 0{,}0660\, l$$

$$M^2_{x_2} = 2 \cdot 0{,}06607\, l = 0{,}1321\, l$$

$$M^3_{x_2} = 2 \cdot 0{,}05762\, l = 0{,}1152\, l$$

$$M^4_{x_2} = 2 \cdot 0{,}04938\, l = 0{,}0988\, l$$

$$M^5_{x_2} = 2 \cdot 0{,}04144\, l = 0{,}0829\, l$$

$$M^6_{x_2} = 2 \cdot 0{,}03386\, l = 0{,}0677\, l$$

$$M^7_{x_2} = 2 \cdot 0{,}02671\, l = 0{,}0534\, l$$

$$M^8_{x_2} = 2 \cdot 0{,}02006\, l = 0{,}0401\, l$$

$$M^9_{x_2} = 2 \cdot 0{,}01400\, l = 0{,}0280\, l$$

$$M^{10}_{x_2} = 2 \cdot 0{,}00858\, l = 0{,}0172\, l$$

$$M^{11}_{x_2} = 2 \cdot 0{,}00389\, l = 0{,}0078\, l.$$

Abb. 62.

c) Einflußlinie für $x_3 = 3 \cdot \frac{l}{12}$

mit $12\, x_3 = 3\, l$ wird

$$M^1_{x_3} = 3 \cdot 0{,}07467\, l - \left(3 \cdot \frac{l}{12} - \frac{1 \cdot l}{12}\right) = 0{,}0573\, l$$

$$M^2_{x_3} = 3 \cdot 0{,}06607\, l - \left(3 \cdot \frac{l}{12} - \frac{2 \cdot l}{12}\right) = 0{,}1149\, l$$

$$M^3_{x_3} = 3 \cdot 0{,}05762\, l = 0{,}1729\, l$$

$$M^4_{x_3} = 3 \cdot 0{,}04938\, l = 0{,}1481\, l$$

$$M^5_{x_3} = 3 \cdot 0{,}04144\, l = 0{,}1243\, l$$

$$M^6_{x_3} = 3 \cdot 0{,}03386\, l = 0{,}1016\, l$$

$$M^7_{x_3} = 3 \cdot 0{,}02671\, l = 0{,}0801\, l$$

$$M^8_{x_3} = 3 \cdot 0{,}02006\, l = 0{,}0602\, l$$

$$M^9_{x_3} = 3 \cdot 0{,}01400\, l = 0{,}0420\, l$$

$$M^{10}_{x_3} = 3 \cdot 0{,}00858\, l = 0{,}0257\, l$$

$$M^{11}_{x_3} = 3 \cdot 0{,}00389\, l = 0{,}0117\, l.$$

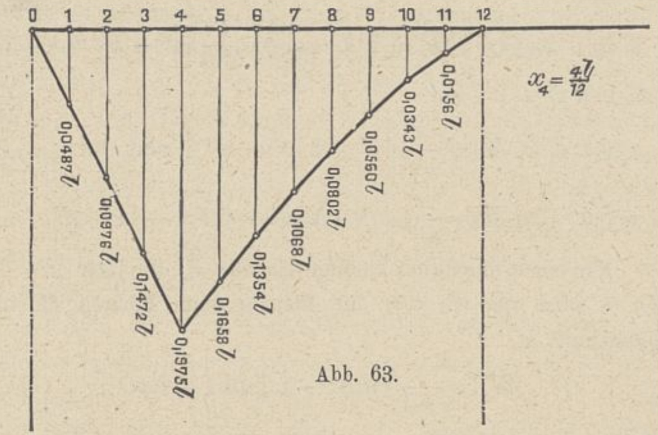


Abb. 63.

d) Einflußlinie für $x_4 = 4 \cdot \frac{l}{12}$

mit $12\, x_4 = 4\, l$ wird

$$M^1_{x_4} = 4 \cdot 0{,}07467\, l - \left(4 \cdot \frac{l}{12} - \frac{1 \cdot l}{12}\right) = 0{,}0487\, l$$

$$M^2_{x_4} = 4 \cdot 0{,}06607\, l - \left(4 \cdot \frac{l}{12} - \frac{2 \cdot l}{12}\right) = 0{,}0976\, l$$

$$M^3_{x_4} = 4 \cdot 0{,}05762\, l - \left(4 \cdot \frac{l}{12} - \frac{3 \cdot l}{12}\right) = 0{,}1472\, l$$

$M^4_{x_4} = 4 \cdot 0{,}04938\, l = 0{,}1975\, l$

$M^5_{x_4} = 4 \cdot 0{,}04144\, l = 0{,}1658\, l$

$M^6_{x_4} = 4 \cdot 0{,}03386\, l = 0{,}1354\, l$

$M^7_{x_4} = 4 \cdot 0{,}02671\, l = 0{,}1068\, l$

$M^8_{x_4} = 4 \cdot 0{,}02006\, l = 0{,}0802\, l$

$M^9_{x_4} = 4 \cdot 0{,}01400\, l = 0{,}0560\, l$

$M^{10}_{x_4} = 4 \cdot 0{,}00858\, l = 0{,}0343\, l$

$M^{11}_{x_4} = 4 \cdot 0{,}00389\, l = 0{,}0156\, l.$

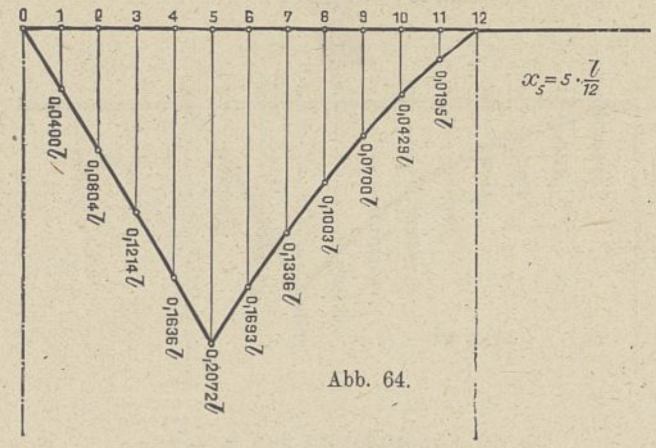


Abb. 64.

e) Einflußlinie für $x_5 = 5 \cdot \frac{l}{12}$

mit $12\, x_5 = 5\, l$ wird

$M^1_{x_5} = 5 \cdot 0{,}07467\, l - \left(5 \cdot \frac{l}{12} - 1\frac{l}{12}\right) = 0{,}0400\, l$

$M^2_{x_5} = 5 \cdot 0{,}06607\, l - \left(5 \cdot \frac{l}{12} - 2\frac{l}{12}\right) = 0{,}0804\, l$

$M^3_{x_5} = 5 \cdot 0{,}05762\, l - \left(5 \cdot \frac{l}{12} - 3\frac{l}{12}\right) = 0{,}1214\, l$

$M^4_{x_5} = 5 \cdot 0{,}04938\, l - \left(5 \cdot \frac{l}{12} - 4\frac{l}{12}\right) = 0{,}1636\, l$

$M^5_{x_5} = 5 \cdot 0{,}04144\, l = 0{,}2072\, l$

$M^6_{x_5} = 5 \cdot 0{,}03386\, l = 0{,}1693\, l$

$M^7_{x_5} = 5 \cdot 0{,}02671\, l = 0{,}1336\, l$

$M^8_{x_5} = 5 \cdot 0{,}02006\, l = 0{,}1003\, l$

$M^9_{x_5} = 5 \cdot 0{,}01400\, l = 0{,}0700\, l$

$M^{10}_{x_5} = 5 \cdot 0{,}00858\, l = 0{,}0429\, l$

$M^{11}_{x_5} = 5 \cdot 0{,}00389\, l = 0{,}0195\, l.$

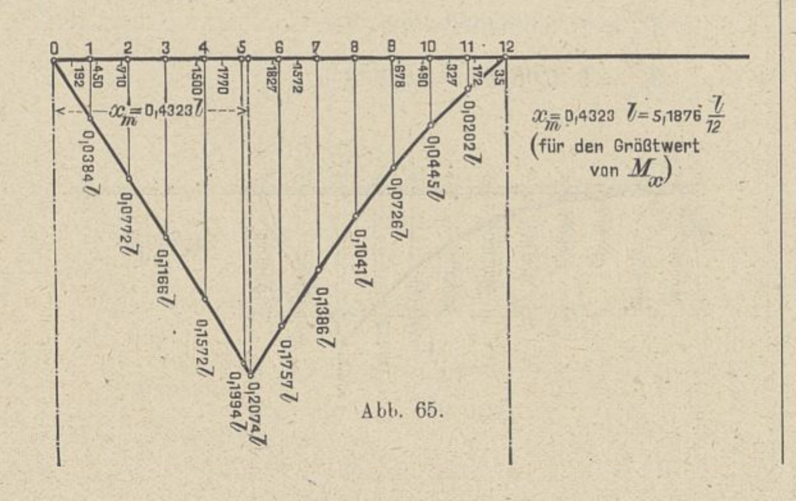


Abb. 65.

f) Einflußlinie am Ort des größten Beitrags zum Biegungsmoment M_x bei $x_m = 0{,}4323\, l$.

Nach früherem erreicht das Biegungsmoment, herrührend von einer Einzellast, seinen Größtwert, wenn die Last sich bei $x_m = 0{,}4323\, l$ befindet, es wird alsdann, da $12\, x_m = 5{,}1876\, l$ ist,

$M^1_{x_m} = 5{,}1876 \cdot 0{,}07467\, l - \left(0{,}4323\, l - 1\frac{l}{12}\right) = 0{,}0384\, l$

$M^2_{x_m} = 5{,}1876 \cdot 0{,}06607\, l - \left(0{,}4323\, l - 2\frac{l}{12}\right) = 0{,}0772\, l$

$M^3_{x_m} = 5{,}1876 \cdot 0{,}05762\, l - \left(0{,}4323\, l - 3\frac{l}{12}\right) = 0{,}1166\, l$

$M^4_{x_m} = 5{,}1876 \cdot 0{,}04938\, l - \left(0{,}4323\, l - 4\frac{l}{12}\right) = 0{,}1572\, l$

$M^5_{x_m} = 5{,}1876 \cdot 0{,}04144\, l - \left(0{,}4323\, l - 5\frac{l}{12}\right) = 0{,}1994\, l$

$M^{x_m}_{x_m} = \frac{0{,}4323\, l}{4\, l^3}[0{,}4323\, l^3 - 5 \cdot 0{,}4323\, l^3 + 4\, l^3] = 0{,}2074\, l$

$M^6_{x_m} = 5{,}1876 \cdot 0{,}03386\, l = 0{,}1757\, l$

$M^7_{x_m} = 5{,}1876 \cdot 0{,}02671\, l = 0{,}1386\, l$

$M^8_{x_m} = 5{,}1876 \cdot 0{,}02006\, l = 0{,}1041\, l$

$M^9_{x_m} = 5{,}1876 \cdot 0{,}01400\, l = 0{,}0726\, l$

$M^{10}_{x_m} = 5{,}1876 \cdot 0{,}00858\, l = 0{,}0445\, l$

$M^{11}_{x_m} = 5{,}1876 \cdot 0{,}00389\, l = 0{,}0202\, l.$

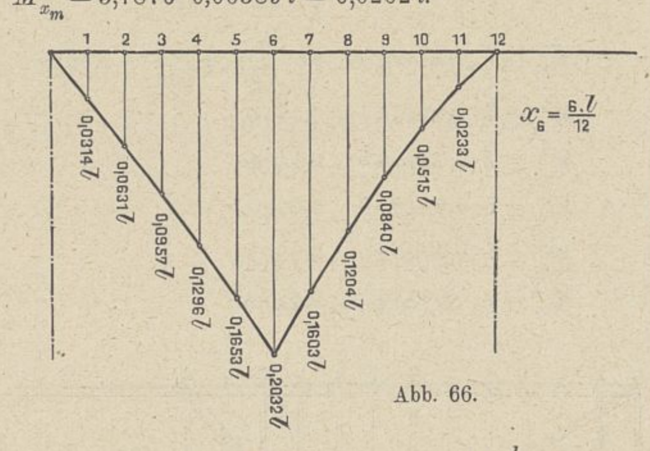


Abb. 66.

g) Einflußlinie für $x_6 = 6 \cdot \frac{l}{12}$

mit $12\, x_6 = 6\, l$ wird

$M^1_{x_6} = 6 \cdot 0{,}07467\, l - \left(6 \cdot \frac{l}{12} - 1\frac{l}{12}\right) = 0{,}0314\, l$

$M^2_{x_6} = 6 \cdot 0{,}06607\, l - \left(6 \cdot \frac{l}{12} - 2\frac{l}{12}\right) = 0{,}0631\, l$

$M^3_{x_6} = 6 \cdot 0{,}05762\, l - \left(6 \cdot \frac{l}{12} - 3\frac{l}{12}\right) = 0{,}0957\, l$

$M^4_{x_6} = 6 \cdot 0{,}04938\, l - \left(6 \cdot \frac{l}{12} - 4\frac{l}{12}\right) = 0{,}1296\, l$

$M^5_{x_6} = 6 \cdot 0{,}04144\, l - \left(6 \cdot \frac{l}{12} - 5\frac{l}{12}\right) = 0{,}1653\, l$

$M^6_{x_6} = 6 \cdot 0{,}03386\, l = 0{,}2032\, l$

$M^7_{x_6} = 6 \cdot 0{,}02671\, l = 0{,}1603\, l$

$M^8_{x_6} = 6 \cdot 0{,}02006\, l = 0{,}1204\, l$

$M^9_{x_6} = 6 \cdot 0{,}01400\, l = 0{,}0840\, l$

$M^{10}_{x_6} = 6 \cdot 0{,}00858\, l = 0{,}0515\, l$

$M^{11}_{x_6} = 6 \cdot 0{,}00389\, l = 0{,}0233\, l.$

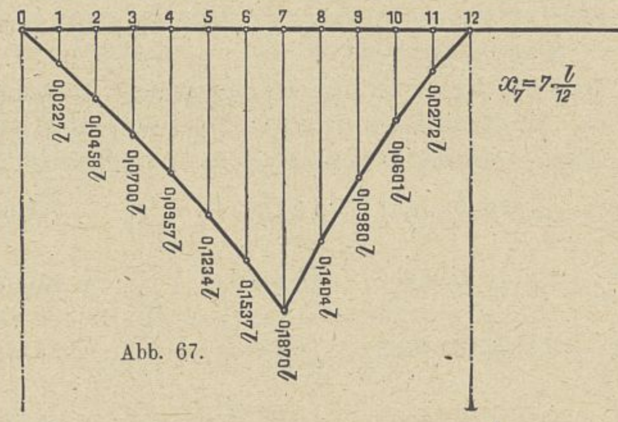


Abb. 67.

h) Einflußlinie für $x_7 = 7 \cdot \frac{l}{12}$

mit $12\,x_7 = 7\,l$ wird

$$M^1_{x_7} = 7 \cdot 0{,}07467\,l - \left(7 \cdot \frac{l}{12} - 1\frac{l}{12}\right) = 0{,}0227\,l$$

$$M^2_{x_7} = 7 \cdot 0{,}06607\,l - \left(7 \cdot \frac{l}{12} - 2\frac{l}{12}\right) = 0{,}0458\,l$$

$$M^3_{x_7} = 7 \cdot 0{,}05762\,l - \left(7 \cdot \frac{l}{12} - 3\frac{l}{12}\right) = 0{,}0700\,l$$

$$M^4_{x_7} = 7 \cdot 0{,}04938\,l - \left(7 \cdot \frac{l}{12} - 4\frac{l}{12}\right) = 0{,}0957\,l$$

$$M^5_{x_7} = 7 \cdot 0{,}04144\,l - \left(7 \cdot \frac{l}{12} - 5\frac{l}{12}\right) = 0{,}1234\,l$$

$$M^6_{x_7} = 7 \cdot 0{,}03386\,l - \left(7 \cdot \frac{l}{12} - 6\frac{l}{12}\right) = 0{,}1537\,l$$

$$M^7_{x_7} = 7 \cdot 0{,}02671\,l = 0{,}1870\,l$$

$$M^8_{x_7} = 7 \cdot 0{,}02006\,l = 0{,}1404\,l$$

$$M^9_{x_7} = 7 \cdot 0{,}01400\,l = 0{,}0980\,l$$

$$M^{10}_{x_7} = 7 \cdot 0{,}00858\,l = 0{,}0601\,l$$

$$M^{11}_{x_7} = 7 \cdot 0{,}00389\,l = 0{,}0272\,l.$$

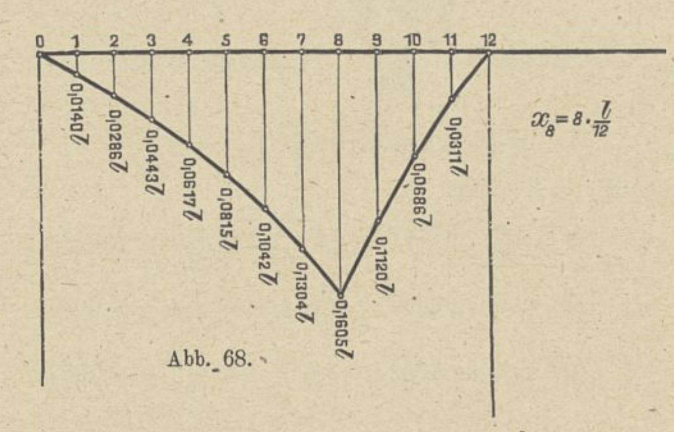


Abb. 68.

i) Einflußlinie für $x_8 = 8 \cdot \frac{l}{12}$

mit $12\,x_8 = 8\,l$ wird

$$M^1_{x_8} = 8 \cdot 0{,}07467\,l - \left(8 \cdot \frac{l}{12} - 1\frac{l}{12}\right) = 0{,}0140\,l$$

$$M^2_{x_8} = 8 \cdot 0{,}06607\,l - \left(8 \cdot \frac{l}{12} - 2\frac{l}{12}\right) = 0{,}0286\,l$$

$$M^3_{x_8} = 8 \cdot 0{,}05762\,l - \left(8 \cdot \frac{l}{12} - 3\frac{l}{12}\right) = 0{,}0443\,l$$

$$M^4_{x_8} = 8 \cdot 0{,}04938\,l - \left(8 \cdot \frac{l}{12} - 4\frac{l}{12}\right) = 0{,}0617\,l$$

$$M^5_{x_8} = 8 \cdot 0{,}04144\,l - \left(8 \cdot \frac{l}{12} - 5\frac{l}{12}\right) = 0{,}0815\,l$$

$$M^6_{x_8} = 8 \cdot 0{,}03386\,l - \left(8 \cdot \frac{l}{12} - 6\frac{l}{12}\right) = 0{,}1042\,l$$

$$M^7_{x_8} = 8 \cdot 0{,}02671\,l - \left(8 \cdot \frac{l}{12} - 7\frac{l}{12}\right) = 0{,}1304\,l$$

$$M^8_{x_8} = 8 \cdot 0{,}02006\,l = 0{,}1605\,l$$

$$M^9_{x_8} = 8 \cdot 0{,}01400\,l = 0{,}1120\,l$$

$$M^{10}_{x_8} = 8 \cdot 0{,}00858\,l = 0{,}0686\,l$$

$$M^{11}_{x_8} = 8 \cdot 0{,}00389\,l = 0{,}0311\,l.$$

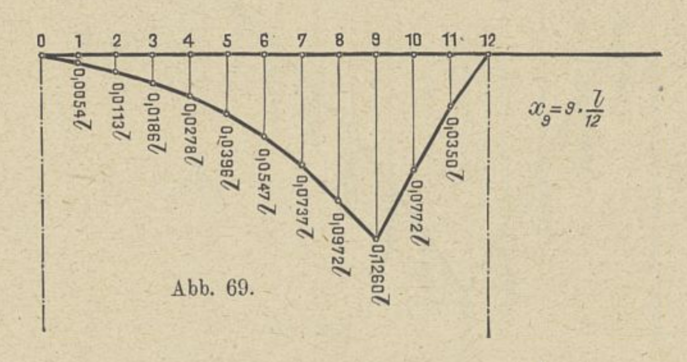


Abb. 69.

k) Einflußlinie für $x_9 = 9 \cdot \frac{l}{12}$

mit $12\,x_9 = 9\,l$ wird

$$M^1_{x_9} = 9 \cdot 0{,}07467\,l - \left(9 \cdot \frac{l}{12} - 1\frac{l}{12}\right) = 0{,}0054\,l$$

$$M^2_{x_9} = 9 \cdot 0{,}06607\,l - \left(9 \cdot \frac{l}{12} - 2\frac{l}{12}\right) = 0{,}0113\,l$$

$$M^3_{x_9} = 9 \cdot 0{,}05762\,l - \left(9 \cdot \frac{l}{12} - 3\frac{l}{12}\right) = 0{,}0186\,l$$

$$M^4_{x_9} = 9 \cdot 0{,}04938\,l - \left(9 \cdot \frac{l}{12} - 4\frac{l}{12}\right) = 0{,}0278\,l$$

$$M^5_{x_9} = 9 \cdot 0{,}04144\,l - \left(9 \cdot \frac{l}{12} - 5\frac{l}{12}\right) = 0{,}0396\,l$$

$$M^6_{x_9} = 9 \cdot 0{,}03386\,l - \left(9 \cdot \frac{l}{12} - 6\frac{l}{12}\right) = 0{,}0547\,l$$

$$M^7_{x_9} = 9 \cdot 0{,}02671\,l - \left(9 \cdot \frac{l}{12} - 7\frac{l}{12}\right) = 0{,}0737\,l$$

$$M^8_{x_9} = 9 \cdot 0{,}02006\,l - \left(9 \cdot \frac{l}{12} - 8\frac{l}{12}\right) = 0{,}0972\,l$$

$$M^9_{x_9} = 9 \cdot 0{,}01400\,l = 0{,}1260\,l$$

$$M^{10}_{x_9} = 9 \cdot 0{,}00858\,l = 0{,}0772\,l$$

$$M^{11}_{x_9} = 9 \cdot 0{,}00389\,l = 0{,}0350\,l.$$

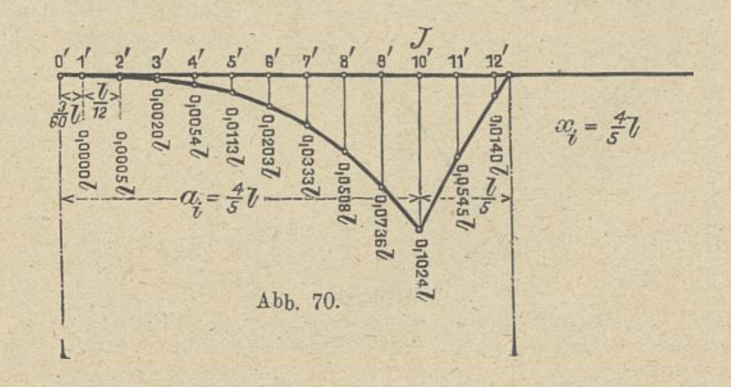


Abb. 70.

l) Einflußlinien für $x_i = \frac{4}{5}\cdot l$ (Festpunkt J).

Die Abszissen a_1', a_2', ... sind in gleichen Abständen $\left(\text{nämlich } \frac{l}{12}\right)$ vom Festpunkt J gewählt, damit die Angriffspunkte der Radlasten mit diesen Teilpunkten zusammenfallen.

Es wird für:

$$a_1' = \frac{3}{60}\cdot l: M_{x_i}^{1'} = \frac{4l}{5\cdot 4l^3}\left[\frac{27}{216000}\cdot l^3 - \frac{15}{60}l^3 + 4l^3\right] - \frac{45}{60}\cdot l = 0{,}0000\,l$$

$$a_2' = \frac{8}{60}\cdot l: M_{x_i}^{2'} = \frac{4l}{5\cdot 4l^3}\left[\frac{512}{216000}\cdot l^3 - \frac{40}{60}l^3 + 4l^3\right] - \frac{40}{60}\cdot l = 0{,}0005\,l$$

$$a_3' = \frac{13}{60}\cdot l: M_{x_i}^{3'} = \frac{4l}{5\cdot 4l^3}\left[\frac{2197}{216000}\cdot l^3 - \frac{65}{60}l^3 + 4l^3\right] - \frac{35}{60}\cdot l = 0{,}0020\,l$$

$$a_4' = \frac{18}{60}\cdot l: M_{x_i}^{4'} = \frac{4l}{5\cdot 4l^3}\left[\frac{5832}{216000}\cdot l^3 - \frac{90}{60}l^3 + 4l^3\right] - \frac{30}{60}\cdot l = 0{,}0054\,l$$

$$a_5' = \frac{23}{60}\cdot l: M_{x_i}^{5'} = \frac{4l}{5\cdot 4l^3}\left[\frac{12167}{216000}\cdot l^3 - \frac{115}{60}l^3 + 4l^3\right] - \frac{25}{60}\cdot l = 0{,}0113\,l$$

$$a_6' = \frac{28}{60}\cdot l: M_{x_i}^{6'} = \frac{4l}{5\cdot 4l^3}\left[\frac{21952}{216000}\cdot l^3 - \frac{140}{60}l^3 + 4l^3\right] - \frac{20}{60}\cdot l = 0{,}0203\,l$$

$$a_7' = \frac{33}{60}\cdot l: M_{x_i}^{7'} = \frac{4l}{5\cdot 4l^3}\left[\frac{35937}{216000}\cdot l^3 - \frac{165}{60}l^3 + 4l^3\right] - \frac{15}{60}\cdot l = 0{,}0333\,l$$

$$a_8' = \frac{38}{60}\cdot l: M_{x_i}^{8'} = \frac{4l}{5\cdot 4l^3}\left[\frac{54872}{216000}\cdot l^3 - \frac{190}{60}l^3 + 4l^3\right] - \frac{10}{60}\cdot l = 0{,}0508\,l$$

$$a_9' = \frac{43}{60}\cdot l: M_{x_i}^{9'} = \frac{4l}{5\cdot 4l^3}\left[\frac{79507}{216000}\cdot l^3 - \frac{215}{60}l^3 + 4l^3\right] - \frac{5}{60}\cdot l = 0{,}0736\,l$$

$$a_{10}' = \frac{48}{60}\cdot l: M_{x_i}^{10'} = \frac{4l}{5\cdot 4l^3}\left[\frac{110592}{216000}\cdot l^3 - \frac{240}{60}l^3 + 4l^3\right] = 0{,}1024\,l$$

$$a_{11}' = \frac{53}{60}\cdot l: M_{x_i}^{11'} = \frac{4l}{5\cdot 4l^3}\left[\frac{148877}{216000}\cdot l^3 - \frac{265}{60}l^3 + 4l^3\right] = 0{,}0545\,l$$

$$a_{12}' = \frac{58}{60}\cdot l: M_{x_i}^{12'} = \frac{4l}{5\cdot 4l^3}\left[\frac{195112}{216000}\cdot l^3 - \frac{290}{60}l^3 + 4l^3\right] = 0{,}0140\,l$$

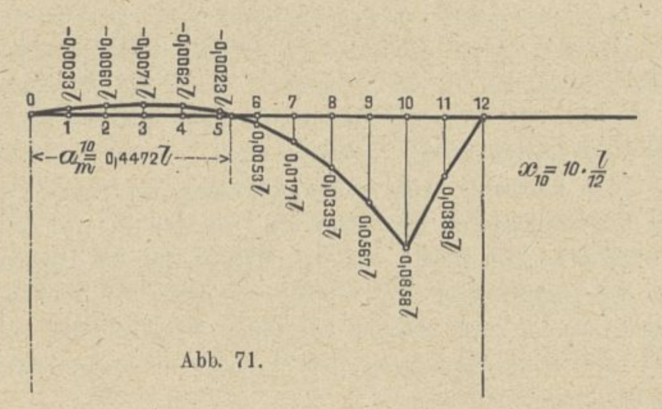


Abb. 71.

m) Einflußlinie für $x_{10} = 10\cdot\frac{l}{12}$.

Mit $12\cdot x_{10} = 10$ wird

$$M_{x_{10}}^1 = 10\cdot 0{,}07467\,l - \left(10\cdot\frac{l}{12} - 1\cdot\frac{l}{12}\right) = -0{,}0033\,l$$

$$M_{x_{10}}^2 = 10\cdot 0{,}06607\,l - \left(10\cdot\frac{l}{12} - 2\cdot\frac{l}{12}\right) = -0{,}0060\,l$$

$$M_{x_{10}}^3 = 10\cdot 0{,}05762\,l - \left(10\cdot\frac{l}{12} - 3\cdot\frac{l}{12}\right) = -0{,}0071\,l$$

$$M_{x_{10}}^4 = 10\cdot 0{,}04938\,l - \left(10\cdot\frac{l}{12} - 4\cdot\frac{l}{12}\right) = -0{,}0062\,l$$

$$M_{x_{10}}^5 = 10\cdot 0{,}04144\,l - \left(10\cdot\frac{l}{12} - 5\cdot\frac{l}{12}\right) = -0{,}0023\,l$$

$$M_{x_{10}}^6 = 10\cdot 0{,}03386\,l - \left(10\cdot\frac{l}{12} - 6\cdot\frac{l}{12}\right) = +0{,}0053\,l$$

$$M_{x_{10}}^7 = 10\cdot 0{,}02671\,l - \left(10\cdot\frac{l}{12} - 7\cdot\frac{l}{12}\right) = -0{,}0171\,l$$

$$M_{x_{10}}^8 = 10\cdot 0{,}02006\,l - \left(10\cdot\frac{l}{12} - 8\cdot\frac{l}{12}\right) = -0{,}0339\,l$$

$$M_{x_{10}}^9 = 10\cdot 0{,}01400\,l - \left(10\cdot\frac{l}{12} - 9\cdot\frac{l}{12}\right) = -0{,}0567\,l$$

$$M_{x_{10}}^{10} = 10\cdot 0{,}00858\,l = 0{,}0858\,l$$

$$M_{x_{10}}^{11} = 10\cdot 0{,}00389\,l = 0{,}0389\,l.$$

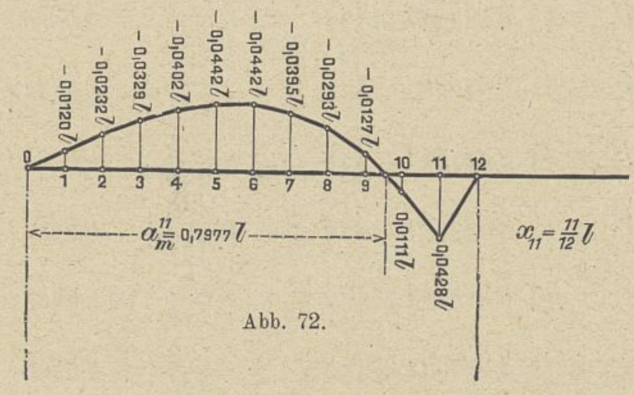


Abb. 72.

n) Einflußlinie für $x_{11} = \frac{11}{12}\cdot l$.

Mit $12\cdot x_{11} = 11\,l$ wird

$$M_{x_{11}}^1 = 11\cdot 0{,}07467\,l - \left(11\cdot\frac{l}{12} - 1\cdot\frac{l}{12}\right) = -0{,}0120\,l$$

$$M_{x_{11}}^2 = 11\cdot 0{,}06607\,l - \left(11\cdot\frac{l}{12} - 2\cdot\frac{l}{12}\right) = -0{,}0232\,l$$

$$M_{x_{11}}^3 = 11\cdot 0{,}05762\,l - \left(11\cdot\frac{l}{12} - 3\cdot\frac{l}{12}\right) = -0{,}0329\,l$$

$$M_{x_{11}}^4 = 11\cdot 0{,}04938\,l - \left(11\cdot\frac{l}{12} - 4\cdot\frac{l}{12}\right) = -0{,}0402\,l$$

$$M_{x_{11}}^5 = 11\cdot 0{,}04144\,l - \left(11\cdot\frac{l}{12} - 5\cdot\frac{l}{12}\right) = -0{,}0442\,l$$

$$M_{x_{11}}^6 = 11\cdot 0{,}03386\,l - \left(11\cdot\frac{l}{12} - 6\cdot\frac{l}{12}\right) = -0{,}0442\,l$$

$$M_{x_{11}}^7 = 11\cdot 0{,}02671\,l - \left(11\cdot\frac{l}{12} - 7\cdot\frac{l}{12}\right) = -0{,}0395\,l$$

$$M_{x_{11}}^8 = 11\cdot 0{,}02006\,l - \left(11\cdot\frac{l}{12} - 8\cdot\frac{l}{12}\right) = -0{,}0239\,l$$

$$M_{x_{11}}^9 = 11\cdot 0{,}01400\,l - \left(11\cdot\frac{l}{12} - 9\cdot\frac{l}{12}\right) = -0{,}0127\,l$$

$$M_{x_{11}}^{10} = 11\cdot 0{,}00858\,l - \left(11\cdot\frac{l}{12} - 10\cdot\frac{l}{12}\right) = +0{,}0111\,l$$

$$M_{x_{11}}^{11} = 11\cdot 0{,}00389\,l = +0{,}0428\,l.$$

Die Belastungsscheide liegt bei

$$a_m^{11} = l\sqrt{5 - 4\cdot\tfrac{12}{11}} = l\sqrt{\tfrac{7}{11}} = 0{,}7977\,l.$$

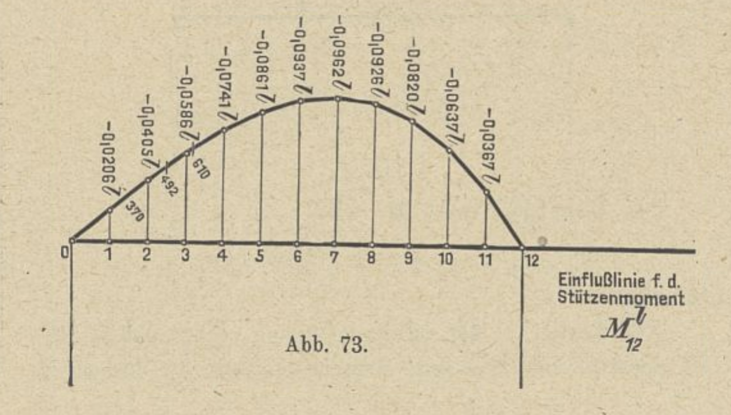


Abb. 73.

o) Einflußlinie für $x_{12} = \frac{12}{12} l = l$ (für das Stützenmoment $\mathfrak{M}_l^{\mathrm{I}}$).

Mit $12 \cdot x_{12} = 12 \cdot l$ wird

$$M_{x_{12}}^1 = 12 \cdot 0{,}07467\, l - \left(12 \cdot \frac{l}{12} - 1 \cdot \frac{l}{12}\right) = -0{,}0207\, l$$

$$M_{x_{12}}^2 = 12 \cdot 0{,}06607\, l - \left(12 \cdot \frac{l}{12} - 2 \cdot \frac{l}{12}\right) = -0{,}0405\, l$$

$$M_{x_{12}}^3 = 12 \cdot 0{,}05762\, l - \left(12 \cdot \frac{l}{12} - 3 \cdot \frac{l}{12}\right) = -0{,}0586\, l$$

$$M_{x_{12}}^4 = 12 \cdot 0{,}04938\, l - \left(12 \cdot \frac{l}{12} - 4 \cdot \frac{l}{12}\right) = -0{,}0741\, l$$

$$M_{x_{12}}^5 = 12 \cdot 0{,}04144\, l - \left(12 \cdot \frac{l}{12} - 5 \cdot \frac{l}{12}\right) = -0{,}0861\, l$$

$$M_{x_{12}}^6 = 12 \cdot 0{,}03386\, l - \left(12 \cdot \frac{l}{12} - 6 \cdot \frac{l}{12}\right) = -0{,}0937\, l$$

$$M_{x_{12}}^7 = 12 \cdot 0{,}02671\, l - \left(12 \cdot \frac{l}{12} - 7 \cdot \frac{l}{12}\right) = -0{,}0962\, l$$

$$M_{x_{12}}^8 = 12 \cdot 0{,}02006\, l - \left(12 \cdot \frac{l}{12} - 8 \cdot \frac{l}{12}\right) = -0{,}0926\, l$$

$$M_{x_{12}}^9 = 12 \cdot 0{,}01400\, l - \left(12 \cdot \frac{l}{12} - 9 \cdot \frac{l}{12}\right) = -0{,}0820\, l$$

$$M_{x_{12}}^{10} = 12 \cdot 0{,}00858\, l - \left(12 \cdot \frac{l}{12} - 10 \cdot \frac{l}{12}\right) = -0{,}0637\, l$$

$$M_{x_{12}}^{11} = 12 \cdot 0{,}00389\, l - \left(12 \cdot \frac{l}{12} - 11 \cdot \frac{l}{12}\right) = -0{,}0367\, l.$$

Bei der Belastung einer Öffnung ist das Stützenmoment $M_{x_l} = \frac{a^3 - a\,l^2}{4\,l^2}$. Der Ort des größten Beitrags ergibt sich aus

$$\frac{dM_{x_l}}{da} = 0 = 3a^2 - l^2 \text{ zu}$$

$$a = \frac{l}{\sqrt{3}} = 0{,}5774 \cdot l = \sim 0{,}58 \cdot l.$$

Dies ist genähert $= \frac{7}{12} \cdot l$. Da es sich um ein mathematisches Maximum handelt, so kann $x_7 = \frac{7}{12} \cdot l$ als Ort des größten Beitrags angesehen werden.

2. Belastung in der Öffnung rechts.

Eine Last $P = 1$ t in der Öffnung rechts ergibt ein Stützenmoment

$$\mathfrak{M}_l^{\mathrm{I}} = -\frac{P}{4\,l^2}\, b\,(l^2 - b^2)$$

und für $P = 1$ t $\quad \mathfrak{M}_l^{\mathrm{I}} = -\frac{b}{4\,l^2}(l^2 - b^2)$

und einen Auflagerdruck

$$A_0 = \frac{\mathfrak{M}_l^{\mathrm{I}}}{l} - \frac{b\,(l^2 - b^2)}{4\,l^3},$$

also negativ.

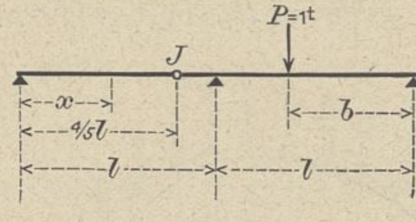


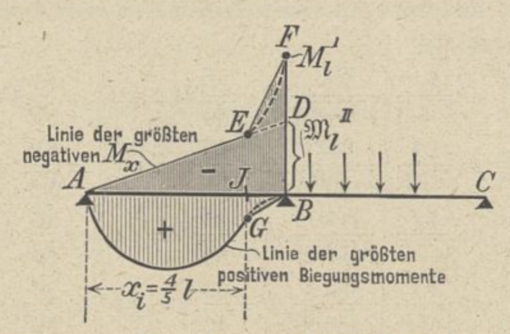
Abb. 74.

Das Biegungsmoment M_x wird

$$M_x = A_0 \cdot x = -\frac{x \cdot b}{4 \cdot l^3}(l^2 - b^2),$$

also negativ.

Alle Lasten in der zweiten Öffnung rechts geben also nur negative Beiträge zum Biegungsmoment M_x für einen beliebigen Querschnitt x in der Öffnung links. Dieses M_x wird am größten, wenn $\mathfrak{M}_{\mathrm{II}}^{\mathrm{I}}$ bei der einseitigen Belastung der Öffnung rechts seinen Größtwert erreicht. Im Abschnitt II sind diese Größtwerte berechnet.



M_l^{I} = Größtwert bei Vollbelastung beider Öffnungen.
$\mathfrak{M}_l^{\mathrm{II}}$ = „ „ „ der Öffnung rechts.

Abb. 75.

Die Linie der größten negativen Momente zwischen $x = 0$ und $x_i = \frac{4}{5}\, l$ (Festpunkt J) ist die gerade Linie AE. Das größte negative Biegungsmoment M_{x_i} beim Festpunkt J ist

$$M_{x_i} = \mathfrak{M}_l^{\mathrm{II}} \cdot \frac{x_i}{l} = \tfrac{4}{5}\, \mathfrak{M}_l^{\mathrm{II}}.$$

Die größten negativen Biegungsmomente für Querschnitte zwischen dem Festpunkt J und der Stütze B ergeben sich bei Belastung der Öffnung rechts und nur der negativen Beitragsstrecken der Öffnung links.

B. Berechnung der größten Biegungsmomente infolge der Belastung durch Radlastzüge mit Hilfe der Einflußlinien.

Bei kleiner Stützweite ist in der Regel die Ermittlung der Linie der größten Biegungsmomente nicht erforderlich, es wird hier meist genügen, die größten vorkommenden Biegungsmomente über der Mittelstütze und in den Öffnungen zu kennen. Mit Hilfe der Einflußlinien kann übrigens rasch das Biegungsmoment an beliebiger Stelle ermittelt werden.

Wir machen jeweils in der Abbildung der Schaulinie der Biegungsmomente die Stützweite l so lang wie bei den Einflußlinien und ändern nur den Maßstab für die Längen bei den verschiedenen Stützweiten. In demselben Maßstab tragen wir auf einen Streifen Pauspapier den Lastenzug auf und verschieben den Zug so, daß er immer die ungünstigste Laststellung einnimmt.

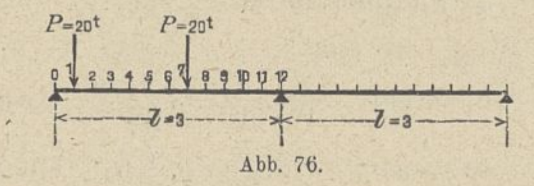


Abb. 76.

a) Stützweite $l = 3{,}0$ m.

1. Größte positive Biegungsmomente.

Der Größtwert ist früher bei $x_m = 1{,}06$ m $= 0{,}353\, l$ zu $M_{3,0}^m = 13{,}94$ mt gefunden worden (Zusammenstellung I).

Mit Hilfe der Einflußlinien findet man ferner

für $x_1 = 1\frac{l}{12}$: $M_{x_1} = 20 \cdot 3\,(0{,}0747 + 0{,}0267) = 6{,}08$ mt

„ $x_2 = 2\frac{l}{12}$: $M_{x_2} = 20 \cdot 3\,(0{,}1321 + 0{,}0401) = 10{,}33$ „

für $x_3 = 3\frac{l}{12}$ —: $M_{x_3} = 20 \cdot 3\,(0{,}1729 + 0{,}0420) = 12{,}89$ mt

„ $x_4 = 4\frac{l}{12}$ —: $M_{x_4} = 20 \cdot 3\,(0{,}1975 + 0{,}0343) = 13{,}91$ „

„ $x_5 = 5\frac{l}{12}$ —: $M_{x_5} = 20 \cdot 3\,(0{,}2072 + 0{,}0195) = 13{,}60$ „

„ $x_6 = 6\frac{l}{12}$ —: $M_{x_6} = 20 \cdot 3 \cdot 0{,}2032 = 12{,}19$ „ [7])

„ $x_7 = 7\frac{l}{12}$ —: $M_{x_7} = 20 \cdot 3\,(0{,}0227 + 0{,}1870) = 12{,}58$ „

„ $x_8 = 8\frac{l}{12}$ —: $M_{x_8} = 20 \cdot 3\,(0{,}0286 + 0{,}1695) = 11{,}35$ „

„ $x_9 = 9\frac{l}{12}$ —: $M_{x_9} = 20 \cdot 3\,(0{,}0186 + 0{,}1260) = 8{,}68$ „

„ $x_{10} = \frac{10 \cdot l}{12}$ —: $M_{x_{10}} = 20 \cdot 3 \cdot 0{,}0858 = 5{,}15$ „ [8])

„ $x_{11} = \frac{11 \cdot l}{12}$ —: $M_{x_{11}} = 20 \cdot 3 \cdot 0{,}0428 = 2{,}57$ „

„ $x_{12} = \frac{12 \cdot l}{12}$ —: $M_{x_{12}} = 20 \cdot 3 \cdot 0 = 0$ „

$x_i = \frac{4}{5} \cdot l$ —: $M_{xi} = 20 \cdot 3\,(0{,}0054 + 0{,}1024) = 6{,}47$ mt.

2. Größte negative Biegungsmomente.

Das größte Stützenmoment bei Vollbelastung beider Öffnungen ist nach Spalte 6 der Zusammenstellung II

$$M^{\mathrm{I}}_{3,0} = -16{,}92 \text{ mt.}$$

Bei einseitiger Belastung nur einer Öffnung (rechts) ergibt sich

$$M^{\mathrm{I}}_{3,0} = -8{,}46 \text{ mt.}$$

Würde man bei der Einflußlinie für $x_{11} = \frac{11}{12}\,l$ nur die negativen Beitragsstrecken belasten, so ergäbe sich als größter negativer Beitrag

zu $M_{x_{11}}$ —: $M'_{x_{11}} = -20 \cdot 3 \cdot (0{,}0232 + 0{,}0293) = -3{,}15$ mt,

hierzu kommt noch infolge der Belastung der zweiten Öffnung

$$M''_{x_{11}} = -\tfrac{11}{12} \cdot 8{,}46 = -7{,}76 \text{ mt,}$$

so daß ungünstigstenfalls der Größtwert von

$M_{x_{11}} = -(3{,}15 + 7{,}76) = -10{,}91$ mt[9]) würde.

Für den Festpunkt J wird

$$M_{x_i} = -\tfrac{4}{5} \cdot 8{,}46 = -6{,}77 \text{ mt.}$$

b) Stützweite $l = 4{,}5$ m.

1. Größte positive Biegungsmomente.

$M^m_{4,5} = 29{,}0$ mt bei $x_m = 2{,}06$ m $= 0{,}459\,l$.

Mit Hilfe der Einflußlinien findet man

$M_{x_1} = 11{,}71$ mt,	$M_{x_7} = 25{,}58$ mt,
$M_{x_2} = 19{,}53$ „	$M_{x_8} = 20{,}00$ „
$M_{x_3} = 23{,}82$ „	$M_{x_9} = 15{,}39$ „
$M_{x_4} = 24{,}99$ „	$M_{x_{10}} = 8{,}20$ „
$M_{x_5} = 28{,}55$ „	$M_{x_{11}} = 3{,}85$ „
$M_{x_6} = 28{,}60$ „	$M_{xi} = 11{,}09$ „

2. Größte negative Biegungsmomente.

Größtes Stützenmoment

bei Vollbelastung nach Zusammenstell. II $M^{\mathrm{I}}_{4,5} = -37{,}50$ mt.

„ einseit. Belast. „ „ „ $M^{\mathrm{I}}_{4,5} = -18{,}75$ mt,

hierbei wird $M'_{x_{11}} = -\frac{11}{12} \cdot 18{,}75 = -17{,}19$ mt.

Bei Belastung der negativen Beitragsstrecken wird der Beitrag in der ersten Öffnung

$$M''_{x_{11}} = -20 \cdot 4{,}5 \begin{pmatrix} 0{,}0120 \\ 0{,}0442 \\ 0{,}0127 \end{pmatrix} = -6{,}20 \text{ mt,}$$

zusammen also

$M_{x_{11}} = -(17{,}19 + 6{,}20) = -23{,}39$ mt,

ferner ist $M_{xi} = -\frac{4}{5} \cdot 18{,}75 = -15{,}00$ mt.

c) Stützweite $l = 6$ m.

1. Größte positive Biegungsmomente.

$M^m_6 = 48{,}90$ mt bei $x_m = 2{,}46 = 0{,}41\,l$.

$M_{x_1} = 19{,}13$ mt,	$M_{x_7} = 43{,}86$ mt,
$M_{x_2} = 31{,}55$ „	$M_{x_8} = 36{,}20$ „
$M_{x_3} = 37{,}98$ „	$M_{x_9} = 23{,}92$ „
$M_{x_4} = 46{,}48$ „	$M_{xi} = 16{,}93$ „
$M_{x_5} = 48{,}89$ „	$M_{x_{10}} = 12{,}35$ „
$M_{x_6} = 45{,}95$ „	$M_{x_{11}} = 5{,}14$ „.

2. Größte negative Biegungsmomente.

Größtes Stützenmoment bei Vollbelastung $M^{\mathrm{I}}_6 = -61{,}9$ mt,

„ „ „ einseit. Belastung $M^{\mathrm{I}}_6 = -30{,}95$ mt.

$M'_{x_{11}} = -28{,}37$ mt,

$M''_{x_{11}} = -11{,}60$ „

also $M_{x_{11}} = -39{,}97$ „

$M_{xi} = -24{,}76$ „.

d) Stützweite $l = 9{,}0$ m.

1. Größte positive Biegungsmomente.

$M^m_9 = 104{,}0$ mt bei $x_m = 4{,}07 = 0{,}452\,l$.

$M_{x_1} = 38{,}6$ mt,	$M_{x_7} = 91{,}0$ mt,
$M_{x_2} = 64{,}1$ „	$M_{x_8} = 76{,}2$ „
$M_{x_3} = 85{,}8$ „	$M_{x_9} = 52{,}7$ „
$M_{x_4} = 98{,}1$ „	$M_{xi} = 34{,}7$ „
$M_{x_5} = 103{,}0$ „	$M_{x_{10}} = 22{,}5$ „
$M_{x_6} = 102{,}2$ „	$M_{x_{11}} = 7{,}7$ „.

2. Größte negative Biegungsmomente.

Größtes Stützenmoment bei Vollbelastung $M^{\mathrm{I}}_9 = -135{,}0$ mt,

„ „ „ einseit. Belastung $M^{\mathrm{I}}_9 = -67{,}5$ mt.

$M'_{x_{11}} = -\frac{11}{12} \cdot 67{,}5 = -61{,}9$ mt,

$M''_{x_{11}} = -25{,}4$ mt,

also $M_{x_{11}} = -87{,}3$ mt,

$M_{xi} = -\frac{4}{5} \cdot 67{,}5 = -54{,}0$ mt.

e) Stützweite $l = 18$ m.

1. Größte positive Biegungsmomente.

$M^m_{18} = 304{,}2$ mt bei $x_m = 7{,}08$ m $= 0{,}3933\,l$.

$M_{x_1} = 115{,}6$ mt,	$M_{x_7} = 286{,}2$ mt,
$M_{x_2} = 201{,}2$ „	$M_{x_8} = 230{,}7$ „
$M_{x_3} = 256{,}8$ „	$M_{x_9} = 163{,}9$ „
$M_{x_4} = 296{,}34$ „	$M_{xi} = 115{,}4$ „
$M_{x_5} = 303{,}1$ „	$M_{x_{10}} = 83{,}7$ [10])
$M_{x_6} = 295{,}1$ [10]),	$M_{x_{11}} = 15{,}4$ „.

7) Dieser Wert ist unverhältnismäßig klein, weil nur ein Rad Platz findet.

8) Man rechnet etwas zu ungünstig, wenn man die negativen Beiträge außer Betracht läßt (bei größeren Öffnungen Belastung durch Tenderlokomotiven).

9) Es wird dabei angenommen, daß beide Belastungen gleichzeitig stattfinden können.

10) Eine in die zweite Öffnung fallende 15 t-Last, welche einen negativen Beitrag liefern würde, ist außer Betracht gelassen.

2. Größte negative Biegungsmomente.

Größtes Stützenmoment

bei Vollbelastung beider Öffnungen $M^{\text{I}}_{18} = -384{,}4$ mt,

„ Belastung nur einer Öffnung $M^{\text{I}}_{18} = -192{,}2$ „.

$$M'_{x_{11}} = -\tfrac{11}{12}\cdot 192{,}2 = -176{,}2 \text{ mt},$$
$$M''_{x_{11}} = -74{,}3 \text{ mt},$$
$$\text{also } M_{x_{11}} = -(176{,}2 + 74{,}3) = -250{,}5 \text{ mt},$$
$$M_{xi} = -\tfrac{4}{5}\cdot 192{,}2 = -153{,}76 \text{ mt}.$$

f) Stützweite $l = 27$ m.

1. Größte positive Biegungsmomente.

$M^m_{27} = 601{,}5$ mt bei $x_m = 0{,}4731 \cdot l = 12{,}77$ m.

$M_{x_1} = 234{,}1$ mt,	$M_{x_7} = 556{,}9$ mt,
$M_{x_2} = 408{,}8$ „	$M_{x_8} = 457{,}0$ „
$M_{x_3} = 527{,}3$ „	$M_{x_9} = 322{,}0$ „
$M_{x_4} = 589{,}4$ „	$M_{xi} = 221{,}8$ „
$M_{x_5} = 604{,}3$ [11])	$M_{x_{10}} = 159{,}7$ „
$M_{x_6} = 598{,}7$ „	$M_{x_{11}} = 42{,}5$ „.

2. Größte negative Biegungsmomente.

Bei Vollbelastung beider Öffnungen ist $M^{\text{I}}_{27} = -798{,}4$ mt.

Bei Belastung nur einer Öffnung wird das Moment über der Mittelstütze $\mathfrak{M}^{\text{I}}_{27} = -399{,}2$ mt.

$$M'_{x_{11}} = -\tfrac{11}{12}\cdot 399{,}2 = -365{,}9 \text{ mt},$$
$$M''_{x_{11}} = -139{,}5 \text{ mt},$$
$$\text{also } M_{x_{11}} = -505{,}4 \text{ mt},$$
ferner wird $M_{xi} = -\tfrac{4}{5}\cdot 399{,}2 = -319{,}4$ mt.

g) Stützweite $l = 36$ m.

1. Größte positive Biegungsmomente.

$M^m_{36} = 1051{,}6$ mt bei $x = 15{,}34$ m $= 0{,}4261\, l$.

$M_{x_1} = 395{,}6$ mt,	$M_{x_7} = 945{,}4$ mt,
$M_{x_3} = 684{,}7$ „	$M_{x_8} = 792{,}6$ „
$M_{x_2} = 880{,}8$ „	$M_{x_9} = 542{,}8$ „
$M_{x_4} = 1018{,}8$ „	$M_{xi} = 363{,}2$ „
$M_{x_5} = 1049{,}0$ „	$M_{x_{10}} = 255{,}9$ „
$M_{x_6} = 1034{,}7$ „	$M_{x_{11}} = 73{,}62$ „.

2. Größte negative Biegungsmomente.

Bei Vollbelastung beider Öffnungen wird $M^{\text{I}}_{36} = -1367$ mt.

Bei Belastung nur einer Öffnung wird das Moment über der Mittelstütze $\mathfrak{M}^{\text{I}}_{36} = -683{,}5$ mt.

$$M'_{x_{11}} = -626{,}5 \text{ mt},$$
$$M''_{x_{11}} = -254{,}1 \text{ „}$$
$$\text{also } M_{x_{11}} = -880{,}6 \text{ „}$$
ferner wird $M_{xi} = -\tfrac{4}{5}\cdot 683{,}5 = -546{,}8$ mt.

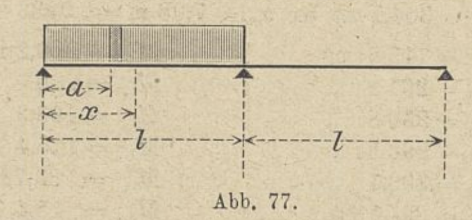


Abb. 77.

11) Hierbei sind die in die zweite Öffnung fallenden Lasten, welche negative Beiträge liefern würden, nicht berücksichtigt.

C. Berechnung und Aufzeichnung der Schaulinien der größten Biegungsmomente aus den Größtwerten der Biegungsmomente.

a) Schaulinie der größten positiven Biegungsmomente.

Bei Vollbelastung nur einer Öffnung mit p t/m ergibt sich das Stützenmoment

$$\mathfrak{M}^{\text{I}}_l = -\int_0^l \frac{p\cdot da}{4l^2}\cdot a\,(l^2 - a^2) = -\frac{p}{4l^2}\left(\frac{a^2 l^2}{2} - \frac{a^4}{4}\right)_{a=0}^{a=l} = -\frac{pl^2}{16}.$$

Der Auflagerdruck A_0 wird

$$A_0 = \frac{1}{l}\left[\mathfrak{M}^{\text{I}}_l + \frac{pl^2}{2}\right] = \frac{1}{l}\left[-\frac{pl^2}{16} + \frac{pl^2}{2}\right] = \frac{7}{16}\,pl,$$

das Moment in beliebigem Querschnitt x ist

$$M_x = A_0 \cdot x - \frac{px^2}{2} = \frac{7}{16}\,plx - \frac{px^2}{2} = \frac{p}{16}[7\,lx - 8\,x^2].$$

M_x ist am größten mit $\dfrac{dMx}{dx} = 0$

oder $\quad 7l - 16x = 0, \quad$ also $\quad x = \tfrac{7}{16}\,l.$

Der Größtwert wird

$$M_m = \frac{p}{16}\left[7l\cdot\tfrac{7}{16}\,l - 8\cdot\frac{49\cdot l^2}{16^2}\right] = \frac{49\cdot pl^2}{512}.$$

M_x wird $= 0$ da, wo $7lx - 8x^2 = 0$ oder $x = \tfrac{7}{8}\,l$ ist.

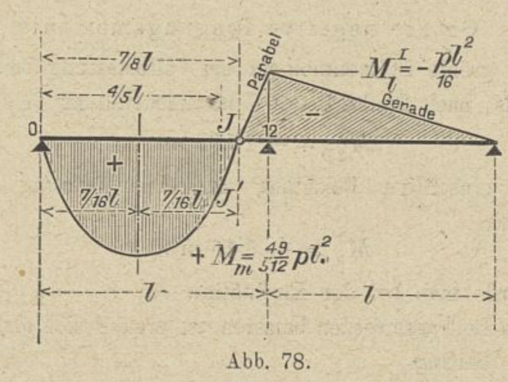


Abb. 78.

Bei gleichmäßig verteilter Last stellt sich die Linie der größten Biegungsmomente zwischen 0 und dem Fußpunkt J als eine Parabel dar, die ihren Scheitel bei $\tfrac{7}{16}\,l$ hat.

Aus den Berechnungen der größten Biegungsmomente bei Belastung durch Lokomotive ergibt sich, daß der Ort des größten Biegungsmomentes M_m zwischen $x_m = 0{,}348\,l$ und $x_m = 0{,}484\,l$ schwankt. Wir werden also symmetrisch zu einer im Abstand $\tfrac{7}{16}\,l$ von 0 liegenden Mittellinie die größten Biegungsmomente auf eine gewisse Länge d = groß $= M_m$ annehmen. Die so erhaltenen Punkte D und E verbinden wir durch Parabeln mit den Punkten 0 und F in $\tfrac{7}{8}\,l$.

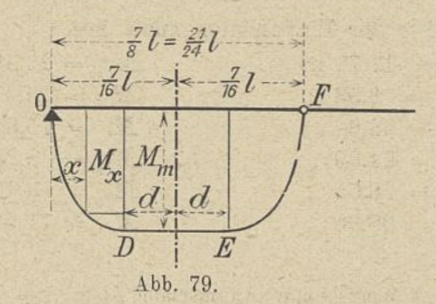


Abb. 79.

Die Ordinate M_x für einen Querschnitt x zwischen 0 und D berechnet sich wie folgt:

Es ist die Gleichung der Parabel

$$(\tfrac{7}{16}\,l - d - x)^2 = 2\,q\cdot(M_m - M_x),$$

Zusammenstellung III.

	Für $x =$ und $x =$	$\frac{1}{24}l$ $\frac{20}{24}l$	$\frac{2}{24}l$ $\frac{19}{24}l$	$\frac{3}{24}l$ $\frac{18}{24}l$	$\frac{4}{24}l$ $\frac{17}{24}l$	$\frac{5}{24}l$ $\frac{16}{24}l$	$\frac{6}{24}l$ $\frac{15}{24}l$	$\frac{7}{24}l$ $\frac{14}{24}l$	$\frac{8}{24}l$ $\frac{13}{24}l$	$\frac{9}{24}l$ $\frac{12}{24}l$	
	$M_x =$	$\frac{17}{81}M_m$	$\frac{32}{81}M_m$	$\frac{45}{81}M_m$	$\frac{56}{81}M_m$	$\frac{65}{81}M_m$	$\frac{72}{81}M_m$	$\frac{77}{81}M_m$	$\frac{80}{81}M_m$	M_m	
insbesondere ergibt sich	für $l = 4{,}5$ —: $M_x^{4,5}$	6,09	11,46	16,11	20,05	23,27	25,78	27,57	28,64	29,00	mt
	„ $l = 6{,}0$ —: M_x^{6}	10,26	19,32	27,17	33,81	39,24	43,47	46,48	48,30	48,90	„
	„ $l = 9{,}0$ —: M_x^{9}	21,83	41,09	57,78	71,90	83,46	92,44	98,86	102,72	104,00	„
	„ $l = 18{,}0$ —: M_x^{18}	63,84	120,18	169,00	210,31	244,11	270,40	289,18	300,44	304,20	„
	„ $l = 27{,}0$ —: M_x^{27}	128,17	241,26	339,28	422,21	490,07	542,84	580,54	603,16	610,70	„
	„ $l = 36{,}0$ —: M_x^{56}	220,70	415,40	584,20	727,00	843,90	934,80	999,70	1038,60	1051,60	„

nun ist für $x = 0$; $M_x = 0$, also $2\,q = \frac{(\frac{7}{16}\,l - d)^2}{M_m}$, somit

$$(\tfrac{7}{16}\,l - d - x)^2 = (\tfrac{7}{16}\,l - d)^2 - (\tfrac{7}{16}\,l - d)^2 \cdot \frac{M_x}{M_m}$$

oder $\quad -2\,x\,(\frac{7}{16}\,l - d) + x^2 = -(\frac{7}{16}\,l - d)^2 \cdot \frac{M_x}{M_m}$, $\quad$ also

$$(74) \qquad M_x = \frac{x\,M_m}{(\frac{7}{16}\,l - d)^2} \cdot [2\,(\tfrac{7}{16}\,l - d) - x].$$

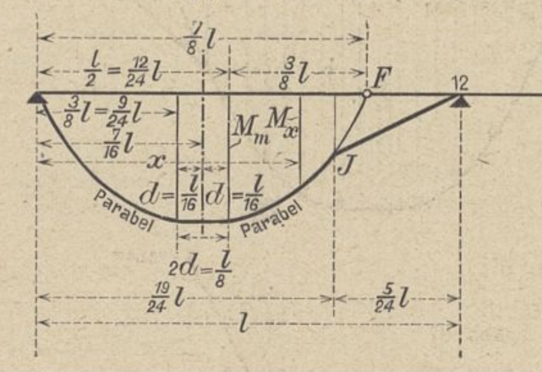


Abb. 80. Linie der größten positiven Biegungsmomente M_x für $l \geqq 4{,}5$ m.

Wir wählen für Stützweiten $l \geqq 4{,}5$ m $d = \frac{l}{16}$ und erhalten für $x \geqq 0 \leqq \frac{3}{8}\,l$: $2\,q = \frac{9 \cdot l^2}{64\,M_m}$

$$(75) \qquad M_x = \frac{64 \cdot x \cdot M_m}{9 \cdot l^2}(\tfrac{3}{4}\,l - x) = \frac{16}{9 \cdot l^2} \cdot M_m \cdot x\,(3\,l - 4\,x).$$

In gleicher Weise ergibt sich für einen Querschnitt x zwischen $x = \frac{l}{2}$ und $x = \frac{7}{8}\,l$ die Gleichung der Parabel

$$\left(x - \frac{l}{2}\right)^2 = 2\,q\,(M_m - M_x) = \frac{9 \cdot l^2}{64\,M_m}\,(M_m - M_x),$$

hieraus

$$(76) \qquad M_x = \frac{M_m}{9\,l^2}\,[64\,(l - x) \cdot x - 7\,l^2] \text{ für } x \geqq \frac{l}{2} \leqq \frac{19}{24}\,l.$$

Mit Hilfe der Formeln (75) u. (76) kann das Moment M_x für jeden beliebigen Wert von x berechnet werden.

Zum Aufzeichnen der Parabeln lassen sich die Werte der Zusammenstellung III benutzen.

Trägt man diese Werte, sowie die aus den Belastungen mit Lokomotiven erhaltenen Werte (⊙) auf, so erkennt man, daß die Werte der M_x mit genügender Genauigkeit mit Hilfe der Formeln (75) und (76) aus dem Größtwert M_m berechnet werden können (Abb. 82 bis 88).

Zwischen dem Festpunkt J und der Mittelstütze bei 12 erhält man die M_x genügend genau, wenn man den bei $\frac{19}{24}\,l$ gefundenen Parabelpunkt mit dem Stützpunkt 12 verbindet. (Nach: Weyrauch, Zeitschrift des Architekten- und Ingenieurvereins zu Hannover 1890, S. 201, genügt es für praktische Zwecke, wenn man die bei den Festpunkten gefundenen Punkte der Größtwerte der M_x geradlinig mit den Größtwerten der Momente über den Stützen verbindet. Im vorliegenden Fall ist das größte + Stützenmoment $M_{12} = 0$ [keine Lasten]).

Für Stützweiten $l < 4{,}5$ m ist meist nur die Kenntnis der größten vorkommenden Biegungsmomente erforderlich, will man jedoch auch für diese Fälle die Momentenlinie berechnen, so ergibt sich dieselbe wie folgt:

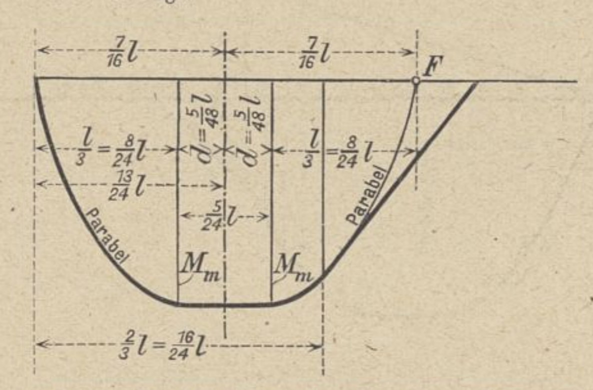


Abb. 81. Linie der größten positiven Biegungsmomente M_x für $l < 4{,}5$ m.

Wir setzen in der Formel (74)

$d = \frac{5}{48}\,l$ und erhalten für $x \geqq 0 \leqq \frac{l}{3}$, $\quad 2\,q = \frac{l^2}{9 \cdot M_m}$ und

$$(76) \qquad M_x = \frac{9\,M_m}{l^2} \cdot x\left(\frac{2}{3}\,l - x\right) = \frac{3\,M_m}{l^2} \cdot x\left(2\,l - 3\,x\right).$$

In gleicher Weise erhält man für

$$x \geqq \frac{13}{24}\,l \leqq \frac{2}{3}\,l$$

$$\left(x - \frac{13}{24}\,l\right)^2 = 2\,q\,(M_m - M_x) = \frac{l^2}{9\,M_m}\,(M_m - M_x),$$

hieraus $\quad M_x = \frac{M_m}{64\,l^2}\left[48\,x \cdot (13\,l - 12\,x) - 105\,l^2\right]$

$$(77) \qquad M_x = \frac{3\,M_m}{64\,l^2}\left[16\,x \cdot (13\,l - 12\,x) - 35\,l^2\right] \text{ für}$$

$$x \geqq \frac{13}{24}\,l \leqq \frac{2}{3}\,l.$$

Zum Aufzeichnen der Parabeln können folgende Werte benutzt werden (Zusammenstellung IV):

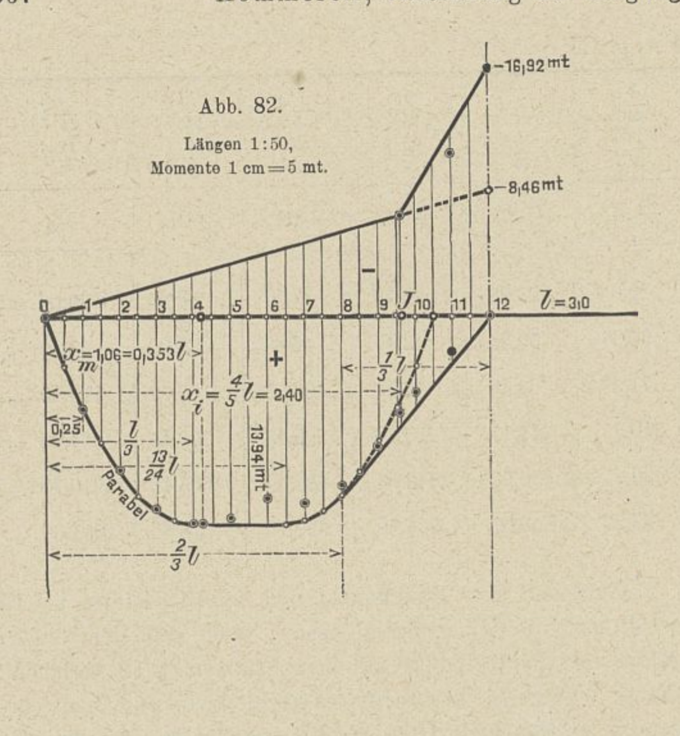


Abb. 82. Längen 1:50, Momente 1 cm = 5 mt.

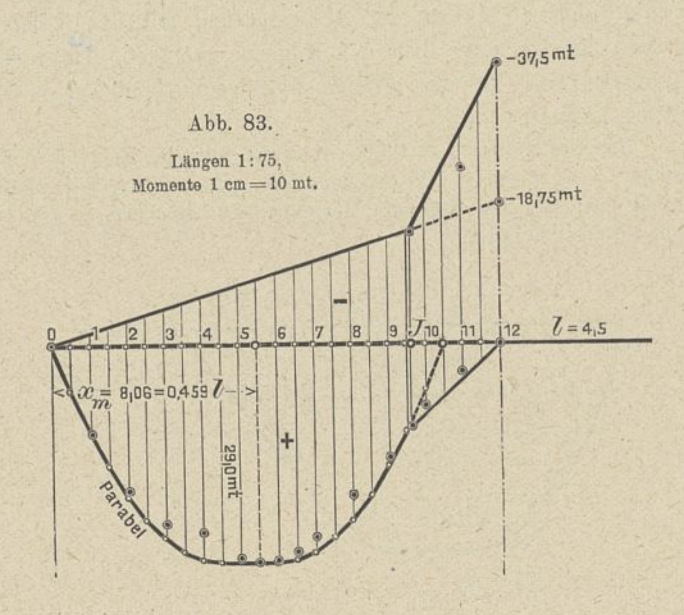


Abb. 83. Längen 1:75, Momente 1 cm = 10 mt.

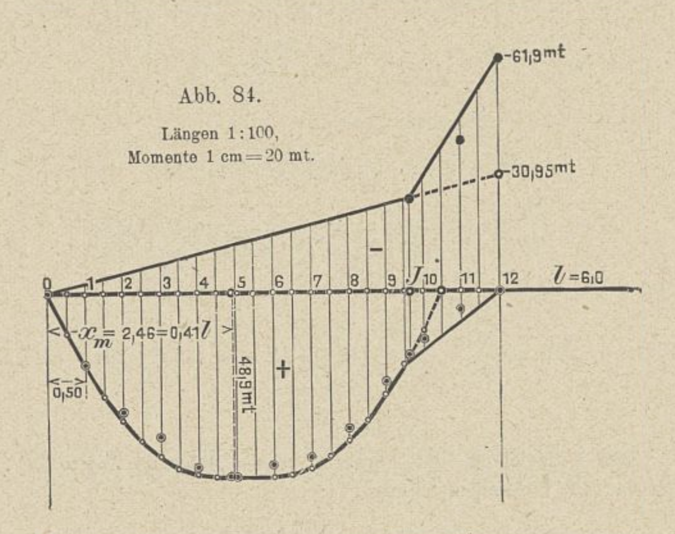


Abb. 84. Längen 1:100, Momente 1 cm = 20 mt.

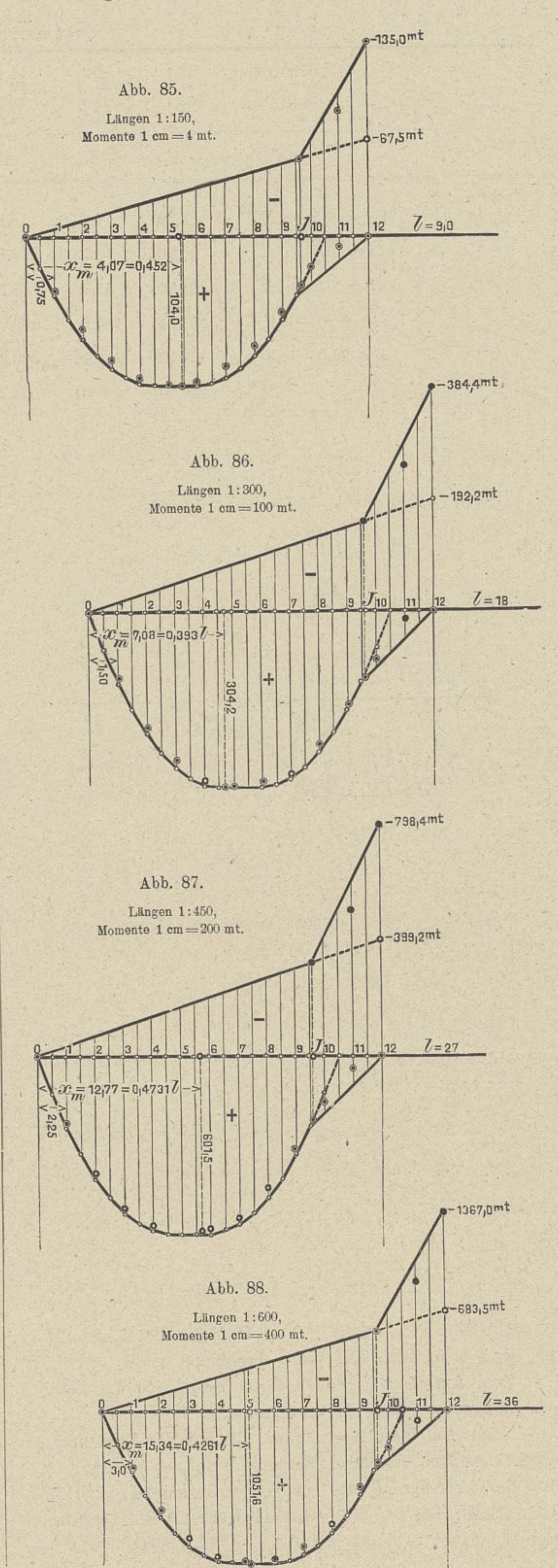


Abb. 85. Längen 1:150, Momente 1 cm = 4 mt.

Abb. 86. Längen 1:300, Momente 1 cm = 100 mt.

Abb. 87. Längen 1:450, Momente 1 cm = 200 mt.

Abb. 88. Längen 1:600, Momente 1 cm = 400 mt.

Zusammenstellung IV.

Für $x=$	0	$\frac{1}{24}l$	$\frac{2}{24}l$	$\frac{3}{24}l$	$\frac{4}{24}l$	$\frac{5}{24}l$	$\frac{6}{24}l$	$\frac{7}{24}l$	$\frac{8}{24}l$
und $x=$	$\frac{21}{24}l$	$\frac{20}{24}l$	$\frac{19}{24}l$	$\frac{18}{24}l$	$\frac{17}{24}l$	$\frac{16}{24}l$	$\frac{15}{24}l$	$\frac{14}{24}l$	$\frac{13}{24}l$
$M_x=$	0	$\frac{15}{64}M_m$	$\frac{28}{64}M_m$	$\frac{39}{64}M_m$	$\frac{48}{64}M_m$	$\frac{55}{64}M_m$	$\frac{60}{64}M_m$	$\frac{63}{64}M_m$	M_m
insbesondere ergibt sich für $l=3$ m $M_x=$	0	3,27	6,10	8,49	10,45	11,98	13,07	13,72	13,94 mt.

Tragen wir diese Werte sowie die mit Hilfe der Lokomotivbelastung berechneten Werte auf, verbinden den für $\frac{2}{3}l = \frac{16}{24}l$ erhaltenen Punkt mit dem Stützpunkt 12, so stellt die stark ausgezeichnete Linie mit genügender Genauigkeit die Linie der größten positiven Biegungsmomente dar.

b) Schaulinie der größten negativen Biegungsmomente.

Zwischen 0 und dem Festpunkt J bildet die Schaulinie eine Gerade, welche nach dem auf der Mittelstütze abgetragenen Momentenpunkt bei Vollbelastung nur der Öffnung rechts gerichtet ist. — Verbindet man den so beim Festpunkt J gefundenen Momentenpunkt geradlinig mit dem Momentenpunkt für das größte Stützenmoment bei Vollbelastung beider Öffnungen, so stellt der so gewonnene Linienzug mit genügender Genauigkeit die Schaulinien der größten negativen Biegungsmomente dar (vgl. Weyrauch, Zeitschrift des Architekten- und Ingenieurvereins Hannover 1890, S. 201). Die genauen Werte der Zwischenpunkte $x = \frac{1}{2}l$ sind durchweg etwas kleiner.

IV. Senkung der Mittelstütze symmetrischer durchlaufender Träger auf drei Stützen, so daß die größten Biegungsmomente aus Eigengewicht und Verkehrslast im Feld und über der Mittelstütze gleich groß werden.

Es sei g das gleichmäßig verteilt gedachte Eigengewicht der Brücke für 1 lfd. m Länge, p diejenige gleichmäßig verteilt gedachte Verkehrslast, welche gleich große Biegungsmomente hervorruft wie der Lastenzug B (vgl. Zusammenstellung V).

Das Moment über der Mittelstütze beim Belastungsfall I ist nach Hütte, 22. Aufl., S. 566:

$$M^{\mathrm{I}}_{\text{Stütze}} = -\frac{gl^2}{8} - \frac{pl^2}{16}.$$

p/m g/m A 0 1 2 l l

Abb. 89. Belastungsfall I.

Eine Momentengleichung um 1 liefert

$$A_0 \cdot l - \frac{(g+p)\,l^2}{2} = -\frac{gl^2}{8} - \frac{pl^2}{16};$$

$$A_0 = \frac{l}{6}(6g + 7p).$$

Das Moment im beliebigen Querschnitt x wird alsdann

$$(78) \qquad M^{\mathrm{I}}_x = \frac{l}{16}\cdot x(6g+7p) - \frac{qx^2}{2}.$$

p/m g/m 0 1 2

Abb. 90. Belastungsfall II.

Im Belastungsfall II wird das Stützenmoment

$$(79) \qquad M^{\mathrm{II}}_{\text{Stütze}} = -\frac{q\cdot l^2}{8}, \text{ wo } q = p + g \text{ ist.}$$

$2X$ sei (siehe Abb. 91) diejenige Last eines einfachen Trägers von der Stützweite $2l$, welche eine solche Senkung i der Zwischenstütze hervorruft, daß das größte Feldmoment und das größte Stützenmoment rechnerisch gleich groß werden. Das von $2X$ herrührende Biegungsmoment im Querschnitt x ist



Abb. 91. Belastungsfall III.

$$(80) \qquad M^X_x = X\cdot x$$

und das Stützenmoment infolge von $2X$ ist

$$(81) \qquad M^X_{\text{Stütze}} = X\cdot l.$$

Die Bedingung, daß das größte Feldmoment und das größte Stützenmoment rechnerisch gleich groß werden, liefert

$$M^{\mathrm{I}}_x + M^X_x = -M^{\mathrm{I}}_{\text{Stütze}} - M^X_{\text{Stütze}} \quad \text{oder}$$

$$(82) \qquad \frac{l}{16}\cdot x(6g+7p) - \frac{qx^2}{2} + X\cdot x = \frac{ql^2}{8} - X\cdot l,$$

hieraus

$$(83) \qquad X = \frac{1}{l+X}\left[\frac{qx^2}{2} - \frac{l}{16}\cdot x(6g+7p) + \frac{ql^2}{8}\right];$$

mit diesem Wert wird das Moment im Querschnitt x

$$(84) \qquad M_x = \frac{l}{16}x(6g+7p) - \frac{qx^2}{2}$$
$$+ \frac{1}{l+x}\left[\frac{qx^3}{2} - \frac{l}{16}x^2(6g+7p) + \frac{ql^2x}{8}\right].$$

Dieses Moment erreicht seinen Größtwert, wenn

$$\frac{dMx}{dx} = 0 = \frac{l}{16}(6g+7p) - qx$$
$$+ \frac{(l+x)\left[-\frac{l}{8}x(6g+7p) + \frac{3qx^2}{2} + \frac{ql^2}{8}\right] - \left[-\frac{l}{16}x^2(6g+7p) + \frac{qx^3}{2} + \frac{ql^2x}{8}\right]}{(l+x)^2},$$

woraus sich

$$(85) \qquad x = -l + l\sqrt{2 + \frac{p}{8q}} \qquad \text{ergibt.}$$

Setzt man diesen Wert in Gl. (83) ein, so wird

$$(86) \qquad X = \frac{l\cdot q}{2}\left[2\sqrt{2 + \frac{p}{8q}} - \frac{p}{8q}\right]$$

und das größte Biegungsmoment wird

$$(87) \qquad M_{\text{Größtw.}} = -\frac{ql^2}{8} + X\cdot l.$$

Die Stützensenkung infolge der Kräfte $2X$ wird

$$(88) \qquad i = \frac{2X\cdot 8\cdot l^3}{48\cdot EJ} = \frac{X\cdot l^3}{3\cdot EJ}, \text{ wo}$$

$$(89) \qquad p = -\frac{8M}{l^2},$$

$$(90) \qquad g = -\frac{8\mathfrak{M}}{l^2},$$

$$(91) \qquad q = p + g = -\frac{8}{l^2}(M + \mathfrak{M}).$$

Dabei ist M das von der bewegten Last (p) im Belastungsfall II (Vollbelastung beider Öffnungen) und $\mathfrak{M}$ das von der ruhenden Last herrührende Stützenmoment.

Es wird ferner

$$(92) \qquad \frac{p}{8q} = \frac{M}{8(M+\mathfrak{M})}$$

und aus Gl. (86) mit $\frac{ql^2}{8} = -(\mathfrak{M} + M)$

$$(93) \quad X = -\frac{4}{l}(\mathfrak{M}+M)\left[2\sqrt{2 + \frac{M}{8(M+\mathfrak{M})}} - 2{,}75 + \frac{M}{8(M+\mathfrak{M})}\right]$$

und

$$M_{\text{Größtw.}} = -(\mathfrak{M} + M) + X\cdot l.$$

Beispiel: Für eine Eisenbahnbrücke aus durchlaufenden Trägern auf drei Stützen von $l = 15,0$ m Stützweite sollen einbetonierte Walzträger verwendet werden.

$l = 15,0$ — $l = 15,0$

Abb. 92.

Es sei das Eigengewicht $g = 10,93$ t/m.

Damit wird $\mathfrak{M} = -\dfrac{g l^2}{8} = -307,4$ mt.

Ferner ist nach Zusammenstellung 5

$$M = -286,8 \text{ mt, also}$$

$$\mathfrak{M} + M = -594,2 \text{ mt},$$

$$\frac{M}{8(\mathfrak{M} + M)} = 0,06033, \text{ somit}$$

$$X = \frac{4}{l} \cdot 594,2 \left[2\sqrt{2,06033} - 2,81033\right]$$

$$= \frac{143,6}{l} \quad \text{oder} \quad X = 9,58 \text{ t}.$$

Es ergibt sich also als größtes auftretendes Biegungsmoment (im Feld und über der Stütze =)

$$M_{\text{Größtw.}} = -594,2 + 143,6 = -450,6 \text{ mt}.$$

Beim Belastungsfall 170 — in Kommerell: „Tafeln für Eisenbahnbrücken aus einbetonierten Walzträgern" — ist nach Spalte 15 das größte Biegungsmoment beim einfachen Träger von $l' = 12,80$ m Stützweite 454,0 mt. Die dort berechneten Eisen genügen also auch für durchlaufende Träger, wenn die Mittelstütze um

$$i = \frac{2X \cdot 8 \cdot l^3}{48 \cdot EJ} = \frac{X \cdot l^3}{3 \cdot EJ}\,^{12)}$$

gesenkt wird.

$2X$ — $2l$

Abb. 93.

Bei Diff. I Nr. 75 ist $J_x = 302560$ in cm, bei 7 Trägern wird also

$$i = \frac{9580 \cdot 1500^3}{7 \cdot 3 \cdot 2150000 \cdot 302560} = 2,37 \text{ cm}.$$

Würde sich die Höhenlage der Mittelstütze um $\triangle i$ ändern, so würde nach Gl. (88)

$$\triangle X = \frac{3 \cdot E \cdot J \cdot \triangle i}{l^3}$$

und die Änderung des Stützenmomentes wäre $\triangle M = \triangle X \cdot l$.

Ist im vorstehenden Beispiel $\triangle i = 0,1$ cm, so wird

Trägerzahl

$$\triangle X = \frac{3 \cdot 2150000 \cdot 7 \cdot 302560 \cdot 01}{1500^3 \cdot 1000} = 0,405 \text{ t},$$

damit die Änderung des Stützenmomentes

$$\triangle M_{\text{Stütze}} = 0,405 \cdot 15 = 6,08 \text{ mt}.$$

Die Änderung des größten Feldmomentes wird rechnerisch kleiner; mit Gl. (92) wird aus Gl. (85)

$$x = -l + l\sqrt{2 + \frac{M}{8(M + \mathfrak{M})}} = -15 + 15\sqrt{2,0604} = 6,53 \text{ m},$$

damit die Änderung des Feldmomentes

$$\triangle M_{\text{Feld}} = + X \cdot x = 0,405 \cdot 6,53 = + 2,64 \text{ mt}.$$

12) Da die Stützensenkung schon vor Erhärtung des Betons beim Einbringen der Träger ausgeführt wird, so kommt nur das Trägheitsmoment der Eisen in Betracht.

V. Zusammenfassung und Ergebnisse.

Zusammenstellung V

der größten Biegungsmomente infolge des Lastenzuges B bei symmetrischen Trägern auf drei Stützen.

1	2	3	1	2	3
Stützweite l in m	Größtes Feldmoment M^{I} mt	Größtes Stützenmoment M^{II} mt	Stützweite l in m	Größtes Feldmoment M^{I} mt	Größtes Stützenmoment M^{II} mt
1,0	4,15	— 5,00	15,0	229,1	— 286,8
1,5	6,23	— 7,50	16,0	253,1	— 317,6
2,0	8,30	— 10,00	17,0	278,0	— 350,0
2,5	10,50	— 12,50	18,0	304,2	— 384,4
3,0	13,94	— 16,92	19,0	331,5	— 422,6
3,5	17,60	— 22,50	20,0	359,2	— 462,6
4 0	23,2	— 30,0	21,0	387,6	— 506,4
4,5	29,0	— 37,5	22,0	421,1	— 550,0
5.0	34,9	— 45,0	23,0	457,4	— 598,6
5,5	41,5	— 53,5	24,0	493,8	— 647,6
6,0	48,9	— 61,9	25,0	530,2	— 695 8
6,5	56,5	— 73,5	26.0	566.6	— 746,6
7,0	65,1	— 85,0	27,0	610,7	— 798,4
7,5	74,7	— 97,5	28,0	654,9	— 855,6
8,0	84,3	— 110,0	29,0	701,6	— 916,4
8,5	94,1	— 122,5	30,0	748,4	— 977,6
9,0	104,0	— 135,0	32,0	843,7	— 1102,0
10,0	124,0	— 160,0	34,0	943,2	— 1232,0
11,0	144,1	— 185,0	36,0	1051.6	— 1367,0
12,0	161,3	— 210,0	38,0	1163,6	— 1508,0
13,0	184,6	— 235,0	40,0	1276,3	— 1663,0
14,0	206,5	— 260,0			

1. Die größten Biegungsmomente infolge des Lastenzuges B können bei Brücken bis 40 m Stützweite der Zusammenstellung V entnommen werden. Bei dazwischenliegenden Stützweiten ist geradlinig einzuschalten. Bei größeren Stützweiten können die Biegungsmomente aus den Momenten einfacher Träger, wie aus Abschnitt II 24 und Abschnitt III 4 hervorgeht, unmittelbar abgeleitet werden. Auch die größten Stützenmomente bei ungleichen Stützweiten lassen sich ohne weiteres, wie am Schluß des Abschnitts III näher dargelegt ist, berechnen. Es ist dort noch näher erläutert, daß das Biegungsmoment über der Mittelstütze nicht unter der Annahme eines festen Radstandes eines über beide Öffnungen verteilten Lastenzuges berechnet werden darf, vielmehr aus dem größten Stützenmoment bei ungünstigster Belastung nur einer Öffnung abgeleitet werden muß, da man sonst bei anderen Radständen erheblich höhere Werte bekommt. Beispielsweise ergibt sich das größte Stützenmoment bei einem Träger auf drei Stützen von je $l = 5,43$ m Stützweite $M_{\text{Stütze}} = -39,82$ mt, wenn das Stützenmoment aus der ungünstigsten Stellung des über beiden Öffnungen stehenden Lastenzuges B berechnet wird, während nach der Zusammenstellung V (Ableitung aus der ungünstigsten Stellung bei Belastung nur einer Öffnung) $M_{\text{Stütze}} = -52,31$ mt wird.

2. Die Biegungsmomente an beliebiger Stelle des Trägers können mit genügender Genauigkeit aus den Schaulinien ermittelt werden (vgl. Abschnitt IV, C).

3. Im Abschnitt V sind einfache Formeln mit einem Zahlenbeispiel für eine solche Senkung der Mittelstütze symmetrischer durchlaufender Träger auf drei Stützen gegeben, daß die größten Biegungsmomente aus Eigengewicht und Verkehrslast im Feld und über der Mittelstütze rechnerisch gleich groß werden. Am Schluß dieses Abschnitts sind auch Formeln entwickelt für Berechnung der Änderung des größten Biegungsmoments über der Mittelstütze und im Feld, wenn die Mittelstütze ihre Höhenlage um einen bestimmten Betrag ändert. Aus dem Zahlenbeispiel im Abschnitt V ist ersichtlich, wie mit Hilfe der vorstehenden Berechnungen die „Tafeln für Eisenbahnbrücken aus einbetonierten Walzträgern" auch für durchlaufende Träger benutzt werden können. Aus diesem Zahlenbeispiel geht hervor, daß bei entsprechender Senkung der Mittelstütze die Träger unter lfd. Nr. 170, welche bei einfachen Balken nur bis $l = 12,80$ m Stützweite ausreichen, bei durchlaufenden symmetrischen Trägern auf drei Stützen bis $l = 15$ m genügen. In den „Tafeln" müßte die Stützweite in einzelnen Fällen mit Rücksicht auf die größte Durchbiegung berechnet werden, bei den durchlaufenden Trägern kommt nur die größte zulässige Beanspruchung infolge der Biegungsmomente in Frage. Die Berechnungen sind technisch und rechnerisch nachgeprüft.

Die Berechnung der Querkräfte bleibt für eine spätere Arbeit vorbehalten.

Buchdruckerei des Waisenhauses in Halle a. d. S.

Statistische Nachweisungen,

betreffend

die in den Jahren **1916** und **1917** unter Mitwirkung der Staatsbaubeamten vollendeten Hochbauten.

(Bearbeitet im Auftrage des Herrn Ministers der öffentlichen Arbeiten.)

Inhaltsverzeichnis.

Seite

I. Kirchen.

1. Tarnau: Katholische Kirche 2
2. Gr.-Mochbern: desgl. 2

II. Pfarrhäuser.

1. Welnau: Katholisches Pfarrhaus 2
2. Wirzchucin: desgl. 2
3. Frauendorf: Evangelisches Pfarrhaus 3
4. Lebbin: desgl. 3
5. Wissek: desgl. 3

III. Volksschulen.

1. Bartow: Schulhaus mit 2 Klassen 3
2. Benshausen: „ „ 7 „ 3

IV. Erziehungsanstalten.

(Fehlen.)

V. Höhere Schulen.

1. Heilsberg: Realschule 4

VI. Seminare.

1. Eschwege: Lehrerseminar 4
2. Recklinghausen: desgl. 5
3. Hohensalza: Lehrerinnenseminar 6

VII. Turnhallen.

(Fehlen.)

VIII. Taubstummenanstalten.

1. Neukölln: Taubstummenanstalt 6

IX. Gebäude für akademischen und Fachunterricht.

1. Marburg: Aseptischer Operationssaal 7

X. Gebäude für Kunst und Wissenschaft.

(Fehlen.)

XI. Gebäude für technische und gewerbliche Zwecke.

(Fehlen.)

XII. Gebäude für gesundheitliche Zwecke.

(Fehlen.)

XIII. Ministerial- und Verwaltungsgebäude.

(Fehlen.)

Seite

XIV. Geschäftsgebäude für Gerichte.

1. Rheinberg: Amtsgericht, Gefängnis und Aufseherwohnhaus 7
2. Lehe i. H.: Amtsgericht, Gefängnis und Beamtenwohnhaus 8
3. Naumburg a. S.: Oberlandesgericht 9

XV. Gefängnisse und Strafanstalten.

1. Cleve: Gefängnis 10

XVI. Gebäude der Steuerverwaltung.

(Fehlen.)

XVII. Eichungsämter.

(Fehlen.)

XVIII. Forstbauten.

1. Thiergarten: Försterwohnhaus 13
2. Gieselwerder: Forstrentamt 13

XIX. Landwirtschaftliche Bauten.

1. Roi b. Tondern: Pächterwohnhaus 13
2. „ „ „ : Rindviehstall 14
3. Frauengarten: Pferdestall 14
4. Roi b. Tondern: desgl. 14
5. Etgersleben: Schafstall 15
6. Grumbkowkaiten: Scheune 15
7. Schwiegupönen: desgl. 15

XX. Gestütsbauten.

1. Altefeld: Rendantenwohnhaus 15
2. Vorwerk Guddin: Pferdestall 15
3. „ Danzkehmen: Scheune 15

XXI. Hochbauten der Wasserbauverwaltung.

1. Stettin-Bredow: Wohnhaus für einen Oberbauhofsvorsteher 16
2. Dirschau: Sechsfamilien-Wohnhaus 16
3. Hardegsen: Umspannwerk 16
4. Hann.-Münden: desgl. 16
5. Sandershausen: desgl. 16
6. Göttingen: desgl. 16

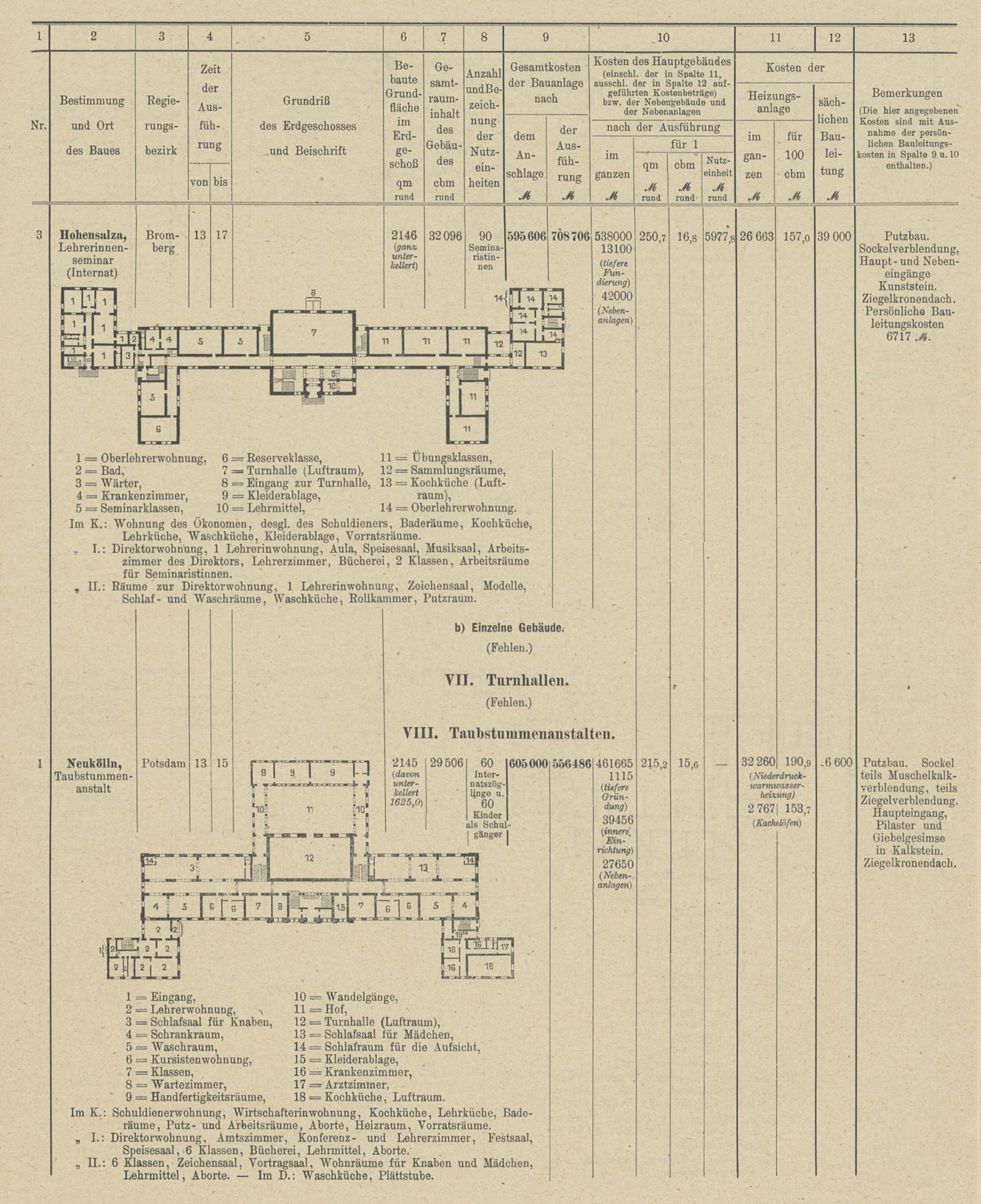
Bemerkung: Um die reinen Baukosten zu erhalten, sind in der Spalte 10 der nachfolgenden Angaben die Kostenbeträge für die sächlichen Bauleitungskosten nicht einbegriffen, aber in Spalte 12 bzw. 13 nachrichtlich angegeben. In den Gesamtkosten der Bauanlage in Spalte 9 sind die sächlichen Bauleitungskosten mit enthalten.

1	2	3	4		5	6	7	8	9		10				11	12	13	14
Nr.	Bestimmung und Ort des Baues	Regierungsbezirk	Zeit der Ausführung		Grundriß des Erdgeschosses und Beischrift	Bebaute Grundfläche im Erdgeschoß	Gesamtrauminhalt des Gebäudes	Anzahl und Bezeichnung der Nutzeinheiten	Gesamtkosten der Bauanlage nach		Kosten des Hauptgebäudes (ausschließlich der in Spalte 11, 12 und 13 aufgeführten Kostenbeträge) nach der Ausführung				Kosten der			Bemerkungen (Die hier angegebenen Kosten sind mit Ausnahme der persönlichen Bauleitungskosten in Spalte 9 u. 10 enthalten.)
			von	bis					dem Anschlage	der Ausführung	im ganzen	für 1 qm	für 1 cbm	für 1 Nutzeinheit	inneren Einrichtung	Nebenanlagen	sächlichen Bauleitung	
						qm rund	cbm rund		ℳ	ℳ	ℳ	ℳ rund	ℳ rund	ℳ rund	ℳ	ℳ	ℳ	
					I. Kirchen.													
					a) Kirchen mit Turmaufbauten. (Fehlen.)													
					b) Kirchen mit Turm.													
					1. Mit Holzdecken.													
1	**Tarnau,** Katholische Kirche	Oppeln	13	16	1 = Vorhalle, 2 = Windfang, 3 = Taufkapelle (alter Bauteil), 4 = Sakristei.	661	8220	1230 *(davon 755 Stehplätze)*	**164500**	**166920**	113405 2491 *(tiefere Fundierung)* 2400 *(Abbruchskosten)*	171,6	13,8	92,2	35 237 *davon* *Kanzel . . . 2835* *Hochaltar . . 7922* *Nebenaltar . . 1408* *Orgel . . . 9325* *1 m Gestühl . 17* *1 Beichtstuhl . 375* *1 " . 437* *Glocken . . . 1731*	2485	10902	Putzbau. Sockel Kalksteinverblendung. Ziegeldoppeldach. Turm Kupferdeckung. Chor gewölbt. Zirkulations-Luftheizung 3908 ℳ. Persönliche Bauleitungskosten 3548 ℳ.
					2. Mit gewölbten Decken.													
2	**Gr.-Mochbern,** desgl., Erweiterungsbau	Breslau	12	14	1 = Sakristei, 3 = Alte Sakristei, 2 = Vorhalle, 4 = Alter Chor.	358 *(davon unterkellert 25,0)*	3898	383 *(davon 130 Stehplätze)*	**65 000**	**60 279** *(Die für den Altbau aufgewendeten Kosten sind hier nicht berücksichtigt)*	57 863	161,2	14,8	151,1	—	—	2416	Ziegelrohbau. Mönch- und Nonnendach. Luftheizung 2246 ℳ.
					II. Pfarrhäuser.										Nebengebäude			
					a) Eingeschossige Bauten.													
1	**Welnau,** Katholisches Pfarrhaus	Bromberg	15	17	1 = Speisekammer, 5 = Schlafzimmer, 2 = Abort, 6 = Arbeitszimmer, 3 = Küche, 7 = Wohnzimmer, 4 = Wirtschafterin, 8 = Eßzimmer. Im K.: Waschküche, Bad, Vorratsräume. „ D.: Fremdenzimmer, Mädchenstube, Kammern.	200 *(davon unterkellert 139,0)*	1287	1	**26 100**	**26 700**	21 100	105,6	16,4	—	—	5600	—	Putzbau. Sockel Feldsteinverblendung. Ziegelkronendach.
2	**Wierzchucin,** desgl.	Bromberg	15	17	1 = Kellereingang, 6 = Wirtschafterin, 2 = Arbeitszimmer, 7 = Küche, 3 = Wohnzimmer, 8 = Speisekammer, 4 = Eßzimmer, 9 = Bad, 5 = Schlafzimmer, 10 = Diele. Im K.: Back- und Waschküche, Milchraum, Vorratsräume. „ D.: Fremdenzimmer, Mädchenkammer, Kammern.	210 *(ganz unterkellert)*	1394	1	**26 000**	**37 000**	29 543	140,7	21,1	—	—	6100	1357	Putzbau. Ziegelkronendach.

1	2	3	4		5	6	7	8	9		10				11	12	13	14
Nr.	Bestimmung und Ort des Baues	Regierungsbezirk	Zeit der Ausführung		Grundriß des Erdgeschosses und Beischrift	Bebaute Grundfläche im Erdgeschoß	Gesamtrauminhalt des Gebäudes	Anzahl und Bezeichnung der Nutzeinheiten	Gesamtkosten der Bauanlage nach		Kosten des Hauptgebäudes (ausschließlich der in Spalte 11, 12 und 13 aufgeführten Kostenbeträge) nach der Ausführung				Kosten der Nebengebäude	Kosten der Nebenanlagen	Kosten der sächlichen Bauleitung	Bemerkungen (Die hier angegebenen Kosten sind mit Ausnahme der persönlichen Bauleitungskosten in Spalte 9 u. 10 enthalten.)
			von	bis		qm rund	cbm rund		dem Anschlage ℳ	der Ausführung ℳ	im ganzen ℳ	für 1 qm ℳ rund	für 1 cbm ℳ rund	für 1 Nutzeinheit ℳ rund	ℳ	ℳ	ℳ	
3	**Frauendorf,** Evangelisches Pfarrhaus	Stettin	14	16	1 = Speisekammer, 2 = Küche, 3 = Flure, 4 = Arbeitszimmer, 5 = Sitzplatz, 6 = Eßzimmer, 7 = Wohnzimmer, 8 = Diele. Im K.: Waschküche, Heizraum, Vorratsräume. „ D.: Schlafzimmer, Mädchenstube, Bad.	215 *(davon unterkellert 210,0)*	1857	1	**31 200**	**33 502**	31 102	144,7	16,7	—	—	—	2400	Putzbau. Sockel Ziegelverblendung. Ziegelkronendach.
4	**Lebbin,** desgl.	Stettin	16	17	1 = Wohnzimmer, 2 = Eßzimmer, 3 = Flur, 4 = Diele, 5 = Speisekammer, 6 = Küche, 7 = Vorraum, 8 = Arbeitszimmer, 9 = Sitzplatz. Im K.: Waschküche, Vorratsräume. „ D.: Schlafzimmer, Fremdenzimmer, Mädchenstube, Bad.	225 *(davon unterkellert 147,0)*	1536	1	**30 000**	**34 700**	31 400	139,5	20,4	—	—	3300	—	Putzbau. Sockel Granitverblendung. Ziegelkronendach.
5	**Wissek,** desgl.	Bromberg	14	16	a = Flur, b = Vereinszimmer, 1 = Konfirmandenzimmer, 2 = Flur, 3 = Arbeitszimmer, 4 = Eßzimmer, 5 = Speisekammer, 6 = Küche, 7 = Wohnzimmer, 8 = Diele. Im K.: Waschküche, Vorratsräume. „ D.: Schlafzimmer, Fremdenzimmer, Mädchenstube, Bad.	268 *(davon unterkellert 159,0)*	1825	1	**35 050** *(Die Kosten für den Bauteil a bis b sind in obigen Summen nicht enthalten.)*	**36 216**	31 852	118,9	17,5	—	1190	1274	1900	Putzbau Sockel Feldsteinverblendung. Ziegelkronendach.
	b) Mehrgeschossige Bauten. (Fehlen.)																	
	III. Volksschulen.																	
	a) Mit 1 Schulzimmer. (Fehlen.)																	
	b) Mit 2 Schulzimmern.																	
1	**Bartow,** Schulgehöft	Stettin	14	18	1 = Schulzimmer, 2 = Schülerflur, 3 = Lehrerwohnung. Im K.: Vorratsräume. „ D.: Wohnung f. d. unverh. Lehrer, 1 Giebelstube.	294 *(davon unterkellert 75,0)*	1713	140	**26 953**	**25 535**	22 655	77,1	13,2	161,8	820	2060	—	Putzbau auf Feldsteinsockel. Ziegelkronendach.
	c) Mit 3 bis 6 Schulzimmern. (Fehlen.)																	
	d) Mit 7 Schulzimmern.																	
2	**Benshausen,** desgl.	Erfurt	14	16	1 = Schulzimmer, 2 = Schülerflur. Im K.: Brause- und Wannenbad, Waschküche, Heizraum, Vorratsräume. „ I.: 3 Schulzimmer, Lehrerzimmer, Wohnung für 1 unverh. Lehrer. „ D.: Schuldienerwohnung.	389 *(ganz unterkellert)*	3992	490	**72 000**	**78 282**	64 263	165,2	16,1	131,1	6515	5510	1994	Putzbau auf Bruchsteinsockel. Ziegelkronendach.

1	2	3	4		5	6	7	8	9		10				11		12	13
Nr.	Bestimmung und Ort des Baues	Regierungsbezirk	Zeit der Ausführung		Grundriß des Erdgeschosses und Beischrift	Bebaute Grundfläche im Erdgeschoß	Gesamtrauminhalt des Gebäudes	Anzahl und Bezeichnung der Nutzeinheiten	Gesamtkosten der Bauanlage nach		Kosten des Hauptgebäudes (einschl. der in Spalte 11, ausschl. der in Spalte 12 aufgeführten Kostenbeträge) bzw. der Nebengebäude und der Nebenanlagen nach der Ausführung				Kosten der Heizungsanlage		Kosten der sächlichen Bauleitung	Bemerkungen (Die hier angegebenen Kosten sind mit Ausnahme der persönlichen Bauleitungskosten in Spalte 9 u. 10 enthalten.)
			von	bis					dem Anschlage	der Ausführung	im ganzen	für 1 qm	für 1 cbm	für 1 Nutzeinheit	im ganzen	für 100 cbm		
						qm rund	cbm rund		ℳ	ℳ	ℳ	ℳ rund	ℳ rund	ℳ rund	ℳ	ℳ	ℳ	
					IV. Erziehungsanstalten. (Fehlen.)													
					V. Höhere Schulen.													
					a) Zusammenhängende Bauanlagen.													
1	**Heilsberg,** Realschule	Königsberg	14	18	1 = Geräte, 2 = Lehrerzimmer, 3 = Turnhalle, 4 = Kleiderablage, 5 = Schülerabort, 6 = Lehrerabort, 7 = Klassen, 8 = Lehrerbücherei, 9 = Schülerbücherei, 10 = Schuldienerwohnung, 11 = Sitzungszimmer, 12 = Schuldiener, 13 = Wartezimmer, 14 = Direktor, 15 = Direktorwohnung. Im K.: Waschküche, Heizraum, Werkstätte, Fahrradraum, Vorratsräume. „ I.: 4 Zimmer der Direktorwohnung, 4 Klassen, Zeichensaal, Lehrmittel, Modelle, Sammlungsräume, Übungszimmer. „ II.: Aula, Gesangsklasse.	1420 (*davon unterkellert 1066,0*)	15105	180	**262500**	**337986**	268326 26451 (*Nebenanlagen*) 22185 (*innere Einrichtung*)	189,0	17,8	1490,7	14625 (*Niederdruckdampfheizung*) 1930 (*Kachelöfen*)	182,5 210,5	21024	Putzbau. Sockel Feldsteinverblendung. Haupteingang in Kunststein. Holländisches Pfannendach.
					b) Einzelne Gebäude. (Fehlen.)													
					VI. Seminare.													
					a) Zusammenhängende Bauanlagen.													
1	**Eschwege,** Lehrerseminar (Externat)	Cassel	14	17	—	—	—	—	**333600**	**367482**	—	—	—	—	—	—	—	—
	a) Hauptgebäude	—			4 = Übungsklassen, 5 = Sammlungsräume. Im K.: Raum f. Handfertigkeitsunterricht, Baderäume, Auskleideraum, Heizraum, Kohlenräume. „ I.: Klassen, Sammlungsraum, Konferenzraum. „ II.: Aula, Reserveklassen, Zeichensaal, Modellraum, Sammlungsraum, Kleiderablage. „ D.: 1 Reserveklasse.	656 (*ganz unterkellert*)	10868	90 Seminaristen	209700 (*einschl. Wohngebäude*)	164770	164770	251,2	15,2	1830,8	11356 (*Niederdruckdampfheizung*)	144,2	—	Putzbau auf Sockel mit Vorsatzbeton. Haupteingang und Attika weißer Sandstein. Ziegeldoppeldach.

1	2	3	4		5	6	7	8	9		10				11		12	13
Nr.	Bestimmung und Ort des Baues	Regierungsbezirk	Zeit der Ausführung		Grundriß des Erdgeschosses und Beischrift	Bebaute Grundfläche im Erdgeschoß	Gesamtrauminhalt des Gebäudes	Anzahl und Bezeichnung der Nutzeinheiten	Gesamtkosten der Bauanlage nach		Kosten des Hauptgebäudes (einschl. der in Spalte 11, ausschl. der in Spalte 12 aufgeführten Kostenbeträge) bzw. der Nebengebäude und der Nebenanlagen nach der Ausführung				Kosten der Heizungsanlage		Kosten der sächlichen Bauleitung	Bemerkungen (Die hier angegebenen Kosten sind mit Ausnahme der persönlichen Bauleitungskosten in Spalte 9 u. 10 enthalten.)
			von	bis		qm rund	cbm rund		dem Anschlage ℳ	der Ausführung ℳ	im ganzen ℳ	für 1 qm ℳ rund	für 1 cbm ℳ rund	für 1 Nutzeinheit ℳ rund	im ganzen ℳ	für 100 cbm ℳ	ℳ	
	b) Wohngebäude	—			1 = Lehrerwohnung, 2 = Schuldienerwohnung, 3 = Schuldienerzimmer. Im K.: Waschküche, Vorratsräume. „ I.: Direktorwohnung. Amtszimmer des Direktors, „ II.: Oberlehrerwohnung „ D.: 3 Kammern.	362 (ganz unterkellert)	4619	4 Wohnungen	(siehe a)	80 457	80 457	222,3	17,4	20114,3	2053 (Öfen)	—	—	Putzbau auf Sockel mit Vorsatzbeton. Ziegeldoppeldach.
	c) Turnhalle	—			6 = Umkleideraum, 7 = Lehrerzimmer, 8 = Turnhalle, 9 = Geräteraum, 10 = Windfang. Im I.: Musiksaal, Orgelzimmer, Musikzellen, Sammlungsraum.	342 (nicht unterkellert)	3711	—	46 200	47 465	47 465	138,8	12,8	—	3360 (Niederdruckdampfheizung)	144,2	—	Wie vor.
	d) Abortgebäude	—			11 = Abort f. Knaben, 12 = „ „ Präparanden, 13 = „ „ Seminaristen, 14 = „ „ Mädchen.	60 (nicht unterkellert)	214	14 Sitze	6100	5291	5291	88,2	24,7	377,0 (für 1 Sitz)	201 (Niederdruckdampfheizung)	—	—	Wie vor.
	e) Nebenanlagen	—			—	—	—	—	25 000	22 928	—	—	—	—	—	—	—	—
	f) Innere Einrichtung	—			—	—	—	—	26 600	26 600	—	—	—	—	—	—	—	—
	g) Sächliche Bauleitungskosten	—			—	—	—	—	20 000	19 971	—	—	—	—	—	—	—	—
2	**Recklinghausen** Lehrerseminar (Externat)	Münster	13	15	1 = Abort f. Mädchen, 2 = „ „ Knaben, 3 = „ „ Seminaristen, 4 = Vorraum, 5 = Geräte, 6 = Turnhalle (Luftraum). 7 = Kammer, 8 = Nischen, 9 = Musikzelle, 10 = Lehrmittel, 11 = Übungsklassen, 12 = Arbeitszimmer für Externe, 13 = Dienstzimmer, 14 = Lehrerwohnung, 15 = Schuldienerwohnung. Im K.: Handfertigkeitsunterricht, Küche und Kammer zur Schuldienerwohnung, Baderäume, Waschküche, Heizraum, Vorratsräume. „ I.: Aula, Musiksaal, 4 Klassen, Bücherei, Lehrerzimmer, Amtszimmer und Wohnung des Direktors. „ II.: Zeichensaal, 4 Klassen, Lehrmittel, eine Oberlehrerwohnung.	1398 (davon unterkellert 857,0)	18 837	90 Seminaristen	**334600**	**333878**	278140 17519 (Nebenanlagen) 24619 (innere Einrichtung)	199,0	14,8	3090,4	13 900 (Niederdruckdampfheizung) 1 595 (Ofenheizung)	136,3 112,6	13600	Putzbau. Unterer Teil des Sockels Basaltlavaverblendung. Eintrittshalle und Fensterumrahmungen am Zeichensaal aus Werkstein. Pfannendach. Dachreiter Zinkdeckung.



1	2	3	4		5	6	7	8	9		10				11		12	13
Nr.	Bestimmung und Ort des Baues	Regierungsbezirk	Zeit der Ausführung von	bis	Grundriß des Erdgeschosses und Beischrift	Bebaute Grundfläche im Erdgeschoß qm rund	Gesamtrauminhalt des Gebäudes cbm rund	Anzahl und Bezeichnung der Nutzeinheiten	Gesamtkosten der Bauanlage nach dem Anschlage ℳ	der Ausführung ℳ	Kosten des Hauptgebäudes (einschl. der in Spalte 11, ausschl. der in Spalte 12 aufgeführten Kostenbeträge) bzw. der Nebengebäude und der Nebenanlagen nach der Ausführung im ganzen ℳ	für 1 qm ℳ rund	cbm ℳ rund	Nutzeinheit ℳ rund	Kosten der Heizungsanlage im ganzen ℳ	für 100 cbm ℳ	Kosten der sächlichen Bauleitung ℳ	Bemerkungen (Die hier angegebenen Kosten sind mit Ausnahme der persönlichen Bauleitungskosten in Spalte 9 u. 10 enthalten.)
3	**Hohensalza,** Lehrerinnenseminar (Internat)	Bromberg	13	17	(Grundriß)	2146 (*ganz unterkellert*)	32096	90 Seminaristinnen	595606	708706	538000 13100 (*tiefere Fundierung*) 42000 (*Nebenanlagen*)	250,7	16,8	5977,8	26663	157,0	39000	Putzbau. Sockelverblendung, Haupt- und Nebeneingänge Kunststein. Ziegelkronendach. Persönliche Bauleitungskosten 6717 ℳ.

1 = Oberlehrerwohnung, 2 = Bad, 3 = Wärter, 4 = Krankenzimmer, 5 = Seminarklassen, 6 = Reserveklasse, 7 = Turnhalle (Luftraum), 8 = Eingang zur Turnhalle, 9 = Kleiderablage, 10 = Lehrmittel, 11 = Übungsklassen, 12 = Sammlungsräume, 13 = Kochküche (Luftraum), 14 = Oberlehrerwohnung.

Im K.: Wohnung des Ökonomen, desgl. des Schuldieners, Baderäume, Kochküche, Lehrküche, Waschküche, Kleiderablage, Vorratsräume.

„ I.: Direktorwohnung, 1 Lehrerinwohnung, Aula, Speisesaal, Musiksaal, Arbeitszimmer des Direktors, Lehrerzimmer, Bücherei, 2 Klassen, Arbeitsräume für Seminaristinnen.

„ II.: Räume zur Direktorwohnung, 1 Lehrerinwohnung, Zeichensaal, Modelle, Schlaf- und Waschräume, Waschküche, Rollkammer, Putzraum.

b) Einzelne Gebäude.

(Fehlen.)

VII. Turnhallen.

(Fehlen.)

VIII. Taubstummenanstalten.

1	2	3	4		5	6	7	8	9		10				11		12	13
1	**Neukölln,** Taubstummenanstalt	Potsdam	13	15	(Grundriß)	2145 (*davon unterkellert 1625,0*)	29506	60 Internatszöglinge u. 60 Kinder als Schulgänger	605000	556486	461665 1115 (*tiefere Gründung*) 39456 (*innere Einrichtung*) 27650 (*Nebenanlagen*)	215,2	15,6	—	32260 (*Niederdruckwarmwasserheizung*) 2767 (*Kachelöfen*)	190,9 153,7	6600	Putzbau. Sockel teils Muschelkalkverblendung, teils Ziegelverblendung. Haupteingang, Pilaster und Giebelgesimse in Kalkstein. Ziegelkronendach.

1 = Eingang, 2 = Lehrerwohnung, 3 = Schlafsaal für Knaben, 4 = Schrankraum, 5 = Waschraum, 6 = Kursistenwohnung, 7 = Klassen, 8 = Wartezimmer, 9 = Handfertigkeitsräume, 10 = Wandelgänge, 11 = Hof, 12 = Turnhalle (Luftraum), 13 = Schlafsaal für Mädchen, 14 = Schlafraum für die Aufsicht, 15 = Kleiderablage, 16 = Krankenzimmer, 17 = Arztzimmer, 18 = Kochküche, Luftraum.

Im K.: Schuldienerwohnung, Wirtschafterinwohnung, Kochküche, Lehrküche, Baderäume, Putz- und Arbeitsräume, Aborte, Heizraum, Vorratsräume.

„ I.: Direktorwohnung, Amtszimmer, Konferenz- und Lehrerzimmer, Festsaal, Speisesaal, 6 Klassen, Bücherei, Lehrmittel, Aborte.

„ II.: 6 Klassen, Zeichensaal, Vortragsaal, Wohnräume für Knaben und Mädchen, Lehrmittel, Aborte. — Im D.: Waschküche, Plättstube.

1	2	3	4		5	6	7	8	9		10				11		12	13
Nr.	Bestimmung und Ort des Baues	Regierungsbezirk	Zeit der Ausführung		Grundriß des Erdgeschosses und Beischrift	Bebaute Grundfläche im Erdgeschoß	Gesamtrauminhalt des Gebäudes	Anzahl und Bezeichnung der Nutzeinheiten	Gesamtkosten der Bauanlage nach		Kosten des Hauptgebäudes (einschl. der in Spalte 11, ausschl. der in Spalte 12 aufgeführten Kostenbeträge) bzw. der Nebengebäude und der Nebenanlagen nach der Ausführung				Kosten der Heizungsanlage		Kosten der sächlichen Bauleitung	Bemerkungen (Die hier angegebenen Kosten sind mit Ausnahme der persönlichen Bauleitungskosten in Spalte 9 u. 10 enthalten.)
			von	bis		qm rund	cbm rund		dem Anschlage ℳ	der Ausführung ℳ	im ganzen ℳ	für 1 qm ℳ rund	für 1 cbm ℳ rund	für 1 Nutzeinheit ℳ rund	im ganzen ℳ	für 100 cbm ℳ	ℳ	

IX. Gebäude für akademischen und Fachunterricht.

A. Hörsaal- und Institutsgebäude.

(Fehlen.)

B. Klinische Universitätsbauten.

1	2	3	4		5	6	7	8	9		10				11		12	13
1	**Marburg,** Aseptischer Operationssaal	Cassel	14	16	1 = Operationssaal, 2 = Waschraum, 3 = Instrumente, 4 = Vorbereitung, 5 = Unterdrucker, 6 = Flur, 7 = Bad, 8 = Verbindungsgang. Untergeschoß: Ärzteeßzimmer, Anrichte, Kleiderablage, Nähzimmer, Wäscheraum, Geräteraum, Kesselraum.	209 *(nicht unterkellert)*	1907	—	**66 400**	**64 455**	44 991 6 129 *(photographisches Atelier)* 2 809 *(Nebenanlagen)* 9 475 *(innere Einrichtung)*	215,3	23,6	—	—	—	1051	Ziegelrohbau. Sockel, Fenstersohlbänke und Abdeckungen aus Sandstein. Holzzementdach.

X. Gebäude für Kunst und Wissenschaft.

(Fehlen.)

XI. Gebäude für technische und gewerbliche Zwecke.

(Fehlen.)

XII. Gebäude für gesundheitliche Zwecke.

(Fehlen.)

XIII. Ministerial- und Verwaltungsgebäude.

(Fehlen).

XIV. Geschäftsgebäude für Gerichte.

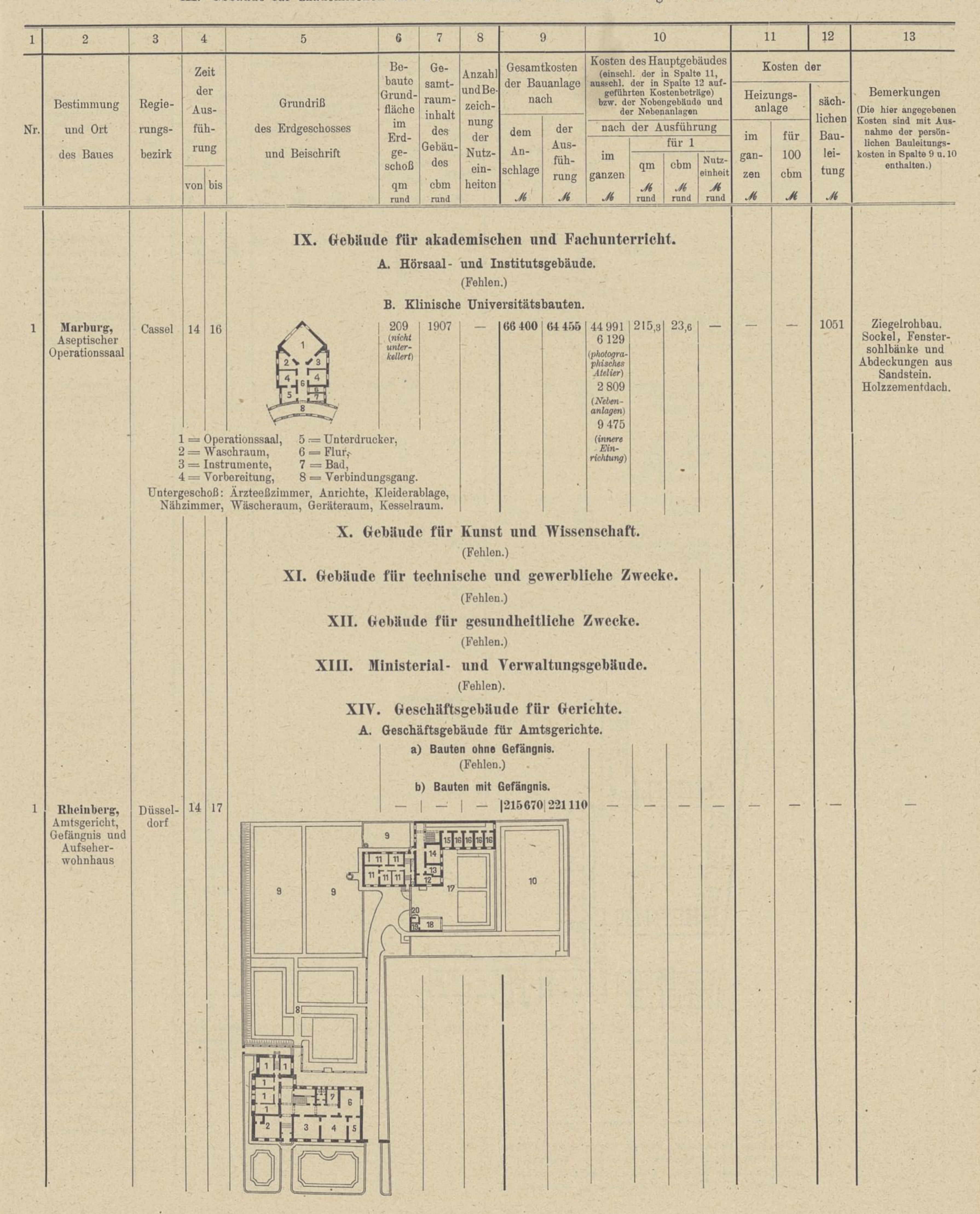
A. Geschäftsgebäude für Amtsgerichte.

a) Bauten ohne Gefängnis.

(Fehlen.)

b) Bauten mit Gefängnis.

1	2	3	4		5	6	7	8	9		10				11		12	13
1	**Rheinberg,** Amtsgericht, Gefängnis und Aufseherwohnhaus	Düsseldorf	14	17		—	—	—	**215 670**	**221 110**	—	—	—	—	—	—	—	—



1	2	3	4		5	6	7	8	9		10				11		12	13
Nr.	Bestimmung und Ort des Baues	Regierungsbezirk	Zeit der Ausführung		Grundriß des Erdgeschosses und Beischrift	Bebaute Grundfläche im Erdgeschoß qm rund	Gesamtrauminhalt des Gebäudes cbm rund	Anzahl und Bezeichnung der Nutzeinheiten	Gesamtkosten der Bauanlage nach		Kosten des Hauptgebäudes (einschl. der in Spalte 11, ausschl. der in Spalte 12 aufgeführten Kostenbeträge) bezw. der Nebengebäude und der Nebenanlagen				Kosten der			Bemerkungen (Die hier angegebenen Kosten sind mit Ausnahme der persönlichen Bauleitungskosten in Spalte 9 u. 10 enthalten.)
											nach der Ausführung				Heizungsanlage		sächlichen Bauleitung	
												für 1						
			von	bis					dem Anschlage ℳ	der Ausführung ℳ	im ganzen ℳ	qm ℳ rund	cbm ℳ rund	Nutzeinheit ℳ rund	im ganzen ℳ	für 100 cbm ℳ	ℳ	
	a) Amtsgericht	—			1 = Gerichtsdienerwohnung, 2 = Kasse, 3 = Richter, 4 = Registratur, 5 = Grundbuch, 7 = Warteraum, 6 = Gerichtsschreiberei, 8/9 = Gärten. Im K.: Waschküche, Heizraum, Vorrats- und Lagerräume. „ I.: Schöffensaal, Richter, Amtsanwalt, Gerichtsschreibereien, Gerichtsdiener, Warteraum, Zelle, Aborte. „ D.: Assessor, Referendar, Gerichtsschreiberei, Bücherei, Aktenräume.	441 (*ganz unterkellert*)	5891	4 Richter	93 200	98 000	98 000	222,2	16,6	24500	5300 (*Warmwasserheizung*)	170,0	—	Ziegelrohbau. Sockel Basaltlavaverblendung. Fenstergewände und Haustürumrahmung in Werkstein. Hauptgesims Eisenbeton. Falzziegeldach.
	b) Gefängnis	—			10 = Gefängnisgarten, 12 = Badezelle, 13 = Strafzelle, 14 = Bureau, 16 = Zellen, 15 = Aufnahmezelle, 17 = Hof. Im Untergeschoß: Kochküche, Waschküche, Speisekammer, Reinigungszelle, Vorratsräume. „ I.: Zellen. — Im II.: Betsaal, Zellen.	200 (*nicht unterkellert*)	2653	14 Zellen	50 200	46 360	46 360	231,8	17,5	3311,4	—	—	—	Ziegelrohbau. Hauptgesims Eisenbeton. Falzziegeldach.
	c) Aufseherwohnung	—			11 = Wohnung des Aufsehers. Im K.: Vorratsräume.	109 (*ganz unterkellert*)	610	1 Wohnung	10 300	8 900	8 900	81,7	14,6	—	—	—	—	Ziegelrohbau. Falzziegeldach
	d) Nebenanlagen	—			18 = Arbeitsschuppen, 19 = Geräteraum, 20 = Abort.	—	—	—	29 970	31 240	—	—	—	—	—	—	—	—
	e) Künstliche Gründung	—			—	—	—	—	5 000	6 260	—	—	—	—	—	—	—	—
	f) Innere Einrichtung	—			—	—	—	—	20 500	20 050	—	—	—	—	—	—	—	—
	g) Sächliche Bauleitungskosten	—			—	—	—	—	6 500	10 300	—	—	—	—	—	—	—	—
2	**Lehe i. H.,** Amtsgericht, Gefängnis und Beamtenwohnhaus	Stade	13	16		—	—	—	**607000**	**590000**	—	—	—	—	—	—	—	Persönliche Bauleitungskosten 9100 ℳ.
	a) Amtsgericht	—			20 = Archiv, 21 = Gerichtsschreiberei, 22 = Registratur, 23 = Richter, 24 = Kasse, 27 = Wohnung des Gerichtsdieners, 25 = Assessor, 26 = Warteraum, 28 = Botenmeister. Im K.: Heizraum, Waschküche, 2 Zellen, Vorrats- und Lagerräume. „ I.: Schöffensaal, Beratungsz., Richter, Gerichtsschreibereien, Sachverständige, Amtsanwalt, Verteilung, Warteräume. „ II.: Zivilsitzungssaal, Richter, Assessor, Kataster, Gerichtsschreibereien, Bücherei, Schreibstuben, Warteräume.	946 (*davon unterkellert 942,0*)	14897	—	258100	242960	242960	256,8	16,3	—	23500 (*Niederdruckwarmwasserheizung*)	253,0	—	Ziegelrohbau. Straßensockel Granit. Haupteingang und Architekturteile des Mittelbaues Muschelkalkstein, Gesimse Beton. Hohlfalzziegeldach.

1	2	3	4		5	6	7	8	9		10				11		12	13
Nr.	Bestimmung und Ort des Baues	Regierungsbezirk	Zeit der Ausführung		Grundriß des Erdgeschosses und Beischrift	Bebaute Grundfläche im Erdgeschoß qm rund	Gesamtrauminhalt des Gebäudes cbm rund	Anzahl und Bezeichnung der Nutzeinheiten	Gesamtkosten der Bauanlage nach		Kosten des Hauptgebäudes (einschl. der in Spalte 11, ausschl. der in Spalte 12 aufgeführten Kostenbeträge) bzw. der Nebengebäude und der Nebenanlagen nach der Ausführung				Kosten der			Bemerkungen (Die hier angegebenen Kosten sind mit Ausnahme der persönlichen Bauleitungskosten in Spalte 9 u. 10 enthalten.)
			von	bis					dem Anschlage ℳ	der Ausführung ℳ	im ganzen ℳ	für 1 qm ℳ rund	für 1 cbm ℳ rund	für 1 Nutzeinheit ℳ rund	Heizungsanlage im ganzen ℳ	Heizungsanlage für 100 cbm ℳ	sächlichen Bauleitung ℳ	
	b) Gefängnis	—			1 = Zellen, 2 = Aufseher, 3 = Bad, 4 = Spülzellen, 5 = Durchfahrt, 6 = Strafzellen, 11 = Aufnahmezellen, 7 = Lagerraum, 12 = Arbeitsschuppen, 8 = Kochküche, 13 = Männerhof, 9 = Speisekammer, 14 = Arbeitshof, 10 = Bureau, 15 = Weiberhof. Im K.: Vorratsräume. „ I.: Betsaal, Zellen, Aufseherzellen, Arzt- und Rechtsanwaltszimmer, Lagerraum. „ II.: Zellen, Aufseherzellen, Waschküche, Rollkammer. „ III.: Zellen, Aufseherzelle.	844 (davon unterkellert 70,0)	10763	107	211050	175645	175645	208,1	16,3	1641,5	20 600 (Niederdruckwarmwasserheizung)	289,0	—	Ziegelrohbau. Straßensockel Werksteinverblendung. Hohlfalzziegeldach.
	c) Beamtenwohnhaus	—			16 = Hof, 17 = Durchgang, 18 = Dienstwohnung für 1 Gef.-Aufseher, 19 = desgl. Im K.: 2 Waschküchen, Vorratsräume. „ I.: 1 Dienstwohnung für den Gefängnisinspektor.	236 (davon unterkellert 221,0)	2063	3 Wohnungen	39 950	38 076	38 076	161,3	18,5	12692	3660 (wie vor)	319,4	—	Wie vor.
	d) Künstliche Gründung	—			—	—	—	—	5 100	18 590	—	—	—	—	—	—	—	—
	e) Innere Einrichtung	—			—	—	—	—	54 000	51 843	—	—	—	—	—	—	—	—
	f) Nebenanlagen	—			—	—	—	—	16 000	21 308	—	—	—	—	—	—	—	—
	g) Sächliche Bauleitungskosten	—			—	—	—	—	22 800	41 578	—	—	—	—	—	—	—	—
					B. Geschäftsgebäude für Landgerichte.													
3	**Naumburg a. S.,** Oberlandesgericht	Merseburg	14	17	1 = Rendant, 11 = Obersekretär, 2 = Kasse, 12 = Oberstaatsanwalt, 3 = Tresor, 13 = Botenzimmer, 4 = Buchhalterin, 14 = Sekretär, 5 = Senatspräsident, 15 = Kanzlist, 6 = Rechnungsamt, 16 = Verfügbar, 7 = Gerichtsdienerwohn., 17 = Aktenraum, 8 = Formulare, 18 = Staatsanwalt, 9 = Buchhalter, 19 = Vorzimmer, 10 = Botenmeisterei, 20 = Hof. Im K.: 1 Dienstwohnung, Waschküche, Heizraum, Fahrradraum, 2 Zellen, Vorrats- und Lagerräume. „ I.: 3 Sitzungssäle, Präsidentenzimmer, Diensträume. „ II.: Klausursaal, Bücherei, Diensträume.	1840 (ganz unterkellert)	31575	—	**748788**	**886600**	639700 28800 (tiefere Gründung) 64500 (Nebenanlagen) 10000 (innere Einrichtung)	347,7	20,3	—	60 000	287,2	53600	Putzbau z. T. Kalksteinverblendung. Ziegeldoppeldach. Persönliche Bauleitungskosten 9360 ℳ.

1	2	3	4		5	6	7	8	9		10				11		12	13
Nr.	Bestimmung und Ort des Baues	Regierungsbezirk	Zeit der Ausführung		Grundriß des Erdgeschosses und Beischrift	Bebaute Grundfläche im Erdgeschoß	Gesamtrauminhalt des Gebäudes	Anzahl und Bezeichnung der Nutzeinheiten	Gesamtkosten der Bauanlage nach		Kosten des Hauptgebäudes (einschl. der in Spalte 11, ausschl. der in Spalte 12 aufgeführten Kostenbeträge) bzw. der Nebengebäude und der Nebenanlagen nach der Ausführung				Kosten der			Bemerkungen (Die hier angegebenen Kosten sind mit Ausnahme der persönlichen Bauleitungskosten in Spalte 9 u. 10 enthalten.)
												für 1			Heizungsanlage		sächlichen Bauleitung	
			von	bis		qm rund	cbm rund		dem Anschlage ℳ	der Ausführung ℳ	im ganzen ℳ	qm ℳ rund	cbm ℳ rund	Nutzeinheit ℳ rund	im ganzen ℳ	für 100 cbm ℳ	ℳ	
					C. Dienstwohngebäude. (Fehlen.)													
					XV. Gefängnisse und Strafanstalten.													
1	**Cleve,** Gefängnis	Düsseldorf	13	15	1 = Wohnhaus f. d. Vorsteher, 2 = „ „ „ Sekretär u. Inspektor, 3 = „ „ je 2 Aufseher, 4 = „ „ d. Oberaufseher, Werkmeister und 2 Aufseher, 5 = Männergefängnis, 6 = Weibergefängnis, 7 = Wirtschaftsgebäude, 8 = desgl., 9 = Arbeitsschuppen, 10 = Kohlenschuppen, 11 = Einfahrt, 12 = Vorhof, 13 = Höfe, 14 = Spazierhof, 15 = Anstaltsgarten.	—	—	—	**632560**	**607121**	—	—	—	—	—	—	—	Persönliche Bauleitungskosten 9869 ℳ.
	a) Männerhaus mit Verwaltungsflügel	—			1 = Beruhigungszelle, 2 = Strafzellen, 3 = Arbeitszellen, 4 = Schlafzellen, 5 = Spülzellen, 6 = Ausgang, 7 = Lagerraum, 8 = Gefangenenbad, 9 = Heizraum, 10 = Reinigungszellen, 11 = Aufnahmebad, 12 = Lagerräume, 13 = Einkleideraum, 14 = Beamtenbad, 15 = Frischluftraum. Im K.: Heizraum (Vertiefung), „ I.: Zimmer f. d. Vorsteher, „ „ „ Geistlichen, Bureau, Kasse, Wartezimmer, Zellen, Lagerräume. „ II.: Krankenstation, Schule, Zellen, Lagerräume, Werkmeister. „ III.: Betsaal, Aufseher, Zellen, Lagerräume.	1201 (*davon unterkellert 58,0*)	17503	210 Zellen	206580	224747	224747	187,1	12,8	1070,2	20 312	177,5	—	Ziegelrohbau. Teils Pfannen-, teils Glas-, teils Holzzementdach.

1	2	3	4		5	6	7	8	9		10				11		12	13
Nr.	Bestimmung und Ort des Baues	Regierungsbezirk	Zeit der Ausführung		Grundriß des Erdgeschosses und Beischrift	Bebaute Grundfläche im Erdgeschoß	Gesamtrauminhalt des Gebäudes	Anzahl und Bezeichnung der Nutzeinheiten	Gesamtkosten der Bauanlage nach		Kosten des Hauptgebäudes (einschl. der in Spalte 11, ausschl. der in Spalte 12 aufgeführten Kostenbeträge) bzw. der Nebengebäude und der Nebenanlagen nach der Ausführung				Kosten der Heizungsanlage		Kosten der sächlichen Bauleitung	Bemerkungen (Die hier angegebenen Kosten sind mit Ausnahme der persönlichen Bauleitungskosten in Spalte 9 u. 10 enthalten.)
			von	bis		qm rund	cbm rund		dem Anschlage ℳ	der Ausführung ℳ	im ganzen ℳ	für 1 qm ℳ rund	für 1 cbm ℳ rund	für 1 Nutzeinheit ℳ rund	im ganzen ℳ	für 100 cbm ℳ	ℳ	
	b) Weiberhaus	—			1 = Spülzelle, 2 = Heizraum, 3 = Gefangenenbad, 4 = Strafzelle, 5 = Tobzelle, 6 = Aufnahmezellen, 7 = Reinigungszelle, 8 = Aufnahmebad, 9 = Beamtenbad, 10 = Lagerräume, 11 = Eingang, 12 = Einkleideraum, 13 = Amtszimmer, 14 = Wohnung f. 1 Aufseherin. Im K.: Heizraum (Vertiefung), Waschküche, Vorratsraum. „ I.: Sprechzimmer, Oberaufseher, Geistlicher, Wartezimmer, Registratur, Zellen. „ II.: Krankenstation, Zellen, Aufseherin. „ III.: Betsaal, Zellen.	372 (davon unterkellert 81,0)	4677	35 Zellen	57 750	64 899	64 899	174,6	13,9	1854,3	7632	359,0	—	Ziegelrohbau. Teils Pfannen-, teils Glas-, teils Holzzementdach.
	c) Wirtschaftsgebäude der Männerabteilung	—			1 = Mehllager, 2 = Backstube, 3 = Brotlager, 4 = Brotschneideraum, 5 = Speisekammer, 6 = Kochküche, 7 = Waschküche, 8 = Kaffeebrennerei. Im K.: Vorratsräume. „ I.: Lagerräume, Trockenboden.	252 (davon unterkellert 134,0)	2166	—	22 220	21 204	21 204	84,1	9,8	—	—	—	—	Ziegelrohbau. Holzzementdach.
	d) Wirtschaftsgebäude der Weiberabteilung	—			1 = Waschküche, 2 = Kochküche, 3 = Speisekammer. Im K.: Vorratsraum, Abort. „ I.: Lagerraum, Trockenboden.	92 (davon unterkellert 19,0)	683	—	5610	6213	6213	67,6	9,1	—	—	—	—	Wie vor.
	e) Arbeitsschuppen der Männerabteilung	—			1 = Schlosserei, 2 = Leichenkammer, 3 = Lagerraum, 4 = Feuerlöschgeräte, 5 = Werkzeugraum, 6 = Petroleumraum, 7 = Wagenschuppen. Im I.: Lagerräume, Tischlerei. „ II.: Lagerräume.	240 (nicht unterkellert)	2069	—	16 390	19 484	19 484	81,2	9,4	—	—	—	—	Wie vor.

1	2	3	4		5	6	7	8	9		10				11		12	13
Nr.	Bestimmung und Ort des Baues	Regierungsbezirk	Zeit der Ausführung		Grundriß des Erdgeschosses und Beischrift	Bebaute Grundfläche im Erdgeschoß	Gesamtrauminhalt des Gebäudes	Anzahl und Bezeichnung der Nutzeinheiten	Gesamtkosten der Bauanlage nach		Kosten des Hauptgebäudes (einschl. der in Spalte 11, ausschl. der in Spalte 12 aufgeführten Kostenbeträge) bzw. der Nebengebäude und der Nebenanlagen nach der Ausführung				Kosten der Heizungsanlage		Kosten der sächlichen Bauleitung	Bemerkungen (Die hier angegebenen Kosten sind mit Ausnahme der persönlichen Bauleitungskosten in Spalte 9 u. 10 enthalten.)
			von	bis		qm rund	cbm rund		dem Anschlage ℳ	der Ausführung ℳ	im ganzen ℳ	für 1 qm ℳ rund	für 1 cbm ℳ rund	für 1 Nutzeinheit ℳ rund	im ganzen ℳ	für 100 cbm ℳ	ℳ	
	f) Wohnhaus des Vorstehers	—			1 = Hauslaube, 2 = Eßzimmer, 3 = Wohnzimmer, 4 = Schlafzimmer, 5 = Küche, 6 = Bad. Im K.: Waschküche, Vorrats- und Lagerräume. „ D.: 1 Zimmer, Mädchenkammer.	167 (davon unterkellert 118,0)	1217	—	17 380	16 859	16 859	101,0	13,9	—	864 (Dauerbrandöfen)	—	—	Ziegelrohbau. Pfannendach.
	g) Wohnhaus des Inspektors und des Sekretärs	—			1 = Inspektorwohnung, 2 = Sekretärwohnung. Im K.: 2 Waschküchen, Vorrats- und Lagerräume. „ D.: 3 Kammern.	306 (davon unterkellert 190,0)	1904	2 Wohnungen	27 390	22 958	22 958	75,0	12,1	11479	725 (Wie vor)	—	—	Wie vor.
	h) 2 Wohnhäuser für je 1 Oberaufseher bzw. Werkmeister und je 1 Aufseher einschl. Torhaus	—			1 = Aufseherwohnung, 2 = Geräte, 3 = Einfahrt, 4 = Durchgang, 5 = Pförtner, 6 = Aufseherwohnung, 7 = Wage. Im K.: 2 Waschküchen, Vorratsräume. „ I.: Oberaufseherwohnung, Werkmeisterwohnung.	285 (davon unterkellert 142,0)	2330	—	31 570	31 141	31 141	109,3	13,4	—	1179 (Wie vor)	—	—	Wie vor.
						für beide Häuser zusammen												
	i) 3 Wohnhäuser für je 2 Aufseher	—			—	—	—	—	33 330	29 703	29 702	—	—	—	—	—	—	—
					1 = Aufseherwohnung, 2 = Waschküche, 3 = Viehställe, 4 = Aufseherwohnung, 5 = Waschküche, 6 = Viehställe. Im K.: Vorratsräume, „ D.: 2 Kammern.	180 (davon unterkellert 72,0)	1086	2	jedes Haus (11110)	(9901)	(9901)	55,0	9,1	4950,5	483 (Wie vor)	—	—	Wie vor.
	k) Kohlenschuppen der Weiberabteilung	—			—	18 (nicht unterkellert)	47	—	480	439	439	24,4	9,1	—	—	—	—	Ziegelrohbau. Pappdach.
	l) Nebenanlagen	—			—	—	—	—	101 700	59 017	—	—	—	—	—	—	—	—
	m) Innere Einrichtung	—			—	—	—	—	81 000	72 258	—	—	—	—	—	—	—	—
	n) Sächliche Bauleitungskosten	—			—	—	—	—	31 160	38 201	—	—	—	—	—	—	—	—

1	2	3	4		5	6	7	8	9		10				11	12	13	14
Nr.	Bestimmung und Ort des Baues	Regierungsbezirk	Zeit der Ausführung		Grundriß des Erdgeschosses und Beischrift	Bebaute Grundfläche im Erdgeschoß	Gesamtrauminhalt des Gebäudes	Anzahl und Bezeichnung der Nutzeinheiten	Gesamtkosten der Bauanlage nach		Kosten des Hauptgebäudes (ausschließlich der in Spalte 11, 12 und 13 aufgeführten Kosten) nach der Ausführung				Kosten der			Bemerkungen (Die hier angegebenen Kosten sind mit Ausnahme der persönlichen Bauleitungskosten in Spalte 9 u. 10 enthalten.)
											im ganzen	für 1						
			von	bis		qm rund	cbm rund		dem Anschlage ℳ	der Ausführung ℳ	ℳ	qm ℳ rund	cbm ℳ rund	Nutzeinheit ℳ rund	Nebengebäude ℳ	Nebenanlagen ℳ	sächlichen Bauleitung ℳ	
					XVI. Gebäude der Steuerverwaltung. (Fehlen.)													
					XVII. Eichungsämter. (Fehlen.)													
					XVIII. Forstbauten.													
					A. Oberförstereien. (Fehlen.)													
					B. Förstereien.													
1	**Thiergarten,** Försterwohnhaus	Wiesbaden		17	1 = Speisekammer, 2 = Küche, 3 = Bad, 4 = Wohnzimmer, 5 = Vorhalle. Im K.: Vorratsräume. „ D.: 1 Stube, 3 Kammern.	120 (*davon unterkellert) 48,0)*	752	—	**20 000**	**23 500**	21 220	176,8	28,2	—	—	1330 950 (*Abbrucharbeiten*)	—	Putzbau. Schieferdach.
2	**Gieselwerder,** Forstrentamt	Cassel	15	17	1 = Forstkasse, 2 = Speisekammer, 3 = Küche, 4 = Wohnzimmer. Im K : Waschküche, Vorratsräume. „ I.: 3 Stuben, 1 Kammer, Bad. „ D.: 1 Kammer.	155 (*davon unterkellert 119,0*)	1425	—	**25 900**	**26 690**	24 127	155,8	16,9	—	—	2563	—	Putzbau auf Bruchsteinsockel. Ziegeldoppeldach.

1	2	3	4		5	6	7	8	9		10				11		12	13
Nr.	Bestimmung und Ort des Baues	Regierungsbezirk	Zeit der Ausführung		Grundriß des Erdgeschosses und Beischrift	Bebaute Grundfläche im Erdgeschoß	Gesamtrauminhalt des Gebäudes	Anzahl und Bezeichnung der Nutzeinheiten	Gesamtkosten der Bauanlage nach		Kosten des Hauptgebäudes nach der Ausführung				Kosten der		Wert der Fuhren in Spalte 9—11 enthalten	Bemerkungen (Die hier angegebenen Kosten sind mit Ausnahme der persönlichen Bauleitungskosten in Spalte 9 u. 10 enthalten.)
											im ganzen	für 1						
			von	bis		qm rund	cbm rund		dem Anschlage ℳ	der Ausführung ℳ	ℳ	qm ℳ rund	cbm ℳ rund	Nutzeinheit ℳ rund	Nebengebäude ℳ	Nebenanlagen ℳ	ℳ	
					XIX. Landwirtschaftliche Bauten.													
					A. Pächterwohnhäuser.													
1	**Roi b. Tondern,** Domäne, Pächterwohnhaus	Schleswig	16	17	1 = Kinderzimmer, 3 = Eßzimmer, 2 = Wohnzimmer, 4 = Amtszimmer, 5 = Kleiderablage. Im K.: Kochküche, Speisekammer, Leutestube, Waschküche, Rollkammern, Heizraum, Vorratsräume. „ D.: Schlafzimmer, Fremdenzimmer, Mädchenstube, Bad.	227 (*ganz unterkellert*)	1995	—	**45 098**	**45 110**	41 299 760 (*sächliche Bauleitungskosten*)	181,9	20,7	—	—	3051	3285	Ziegelrohbau. Ziegeldach.

1	2	3	4		5	6	7	8	9		10				11	12	13	14
Nr.	Bestimmung und Ort des Baues	Regierungsbezirk	Zeit der Ausführung		Grundriß des Erdgeschosses und Beischrift	Bebaute Grundfläche im Erdgeschoß	Gesamtrauminhalt des Gebäudes	Anzahl und Bezeichnung der Nutzeinheiten	Gesamtkosten der Bauanlage nach		Kosten des Hauptgebäudes nach der Ausführung				Kosten der Nebengebäude	Kosten der Nebenanlagen	Wert der Fuhren in Spalte 9—11 enthalten	Bemerkungen (Die hier angegebenen Kosten sind mit Ausnahme der persönlichen Bauleitungskosten in Spalte 9 u. 10 enthalten.)
			von	bis					dem Anschlage	der Ausführung	im ganzen	für 1 qm	für 1 cbm	für 1 Nutzeinheit				
						qm rund	cbm rund		ℳ	ℳ	ℳ	ℳ rund	ℳ rund	ℳ rund	ℳ	ℳ	ℳ	

B. Wohnhäuser für Wanderarbeiter.

(Fehlen.)

C. Rindviehställe.

1. Balkendecken.

(Fehlen.)

2. Massivdecken.

Nr.	Bestimmung und Ort des Baues	Regierungsbezirk	von	bis	Grundriß	6	7	8	9 dem Anschlage	9 der Ausführung	10 im ganzen	qm	cbm	Nutzeinheit	11	12	13	14
2	**Roi b. Tondern,** Domäne	Schleswig	16	17	1 = Milchkammer, 4 = Rindviehstall, 2 = Motorraum, 5 = Kammer, 3 = Rübenkammer, 6 = Geflügelstall, 7 = Wasserbassin. Im K.: Vorratsraum, „ D.: Futterboden.	871 (*davon unterkellert 19,0*)	6737	176 Stück Rindvieh	**55 939**	**55 839**	48 357 1 078 (*Futterbahn*) 880 (*sächliche Bauleitungskosten*)	55,5	7,2	274,8	—	5524	4070	Erdgeschoß Ziegelrohbau, Drempel verbrettertes Fachwerk. Doppelpappdach.

D. Pferdeställe.

1. Balkendecken mit Massivbelag.

Nr.	Bestimmung und Ort des Baues	Regierungsbezirk	von	bis	Grundriß	6	7	8	9 dem Anschlage	9 der Ausführung	10 im ganzen	qm	cbm	Nutzeinheit	11	12	13	14
3	**Frauengarten,** Domäne	Bromberg	16	17	1 = Geschirrkammer, 3 = Boxen, 2 = Kutscherstube, 4 = Kutschpferde, 5 = Ackerpferde. Im D.: Futterboden.	450 (*nicht unterkellert*)	2285	45 Pferdestände	**25 000**	**30 725**	30 350	67,4	13,3	674,4	—	375	2350	Ziegelrohbau mit geputzten Flächen. Ziegelkronendach.

2. Massivdecken.

Nr.	Bestimmung und Ort des Baues	Regierungsbezirk	von	bis	Grundriß	6	7	8	9 dem Anschlage	9 der Ausführung	10 im ganzen	qm	cbm	Nutzeinheit	11	12	13	14
4	**Roi b. Tondern,** Domäne	Schleswig	16	17	1 = Knechtekammern, 4 = Wagenraum, 2 = Futterkammer, 5 = Boxen, 3 = Geschirrkammer, 6 = Pferdestall, 7 = Wasserbassin. Im D.: Futterboden.	359 (*nicht unterkellert*)	2761	—	**28 331**	**28 276**	26 762 460 (*sächliche Bauleitungskosten*)	74,6	9,7	—	—	1054	2060	Erdgeschoß Ziegelrohbau, Drempel verbrettertes Fachwerk. Doppelpappdach

E. Ställe für Pferde und Rindvieh.

(Fehlen.)

F. Schweineställe.

(Fehlen.)

1	2	3	4		5	6	7	8	9		10				11	12	13	14
Nr.	Bestimmung und Ort des Baues	Regierungsbezirk	Zeit der Ausführung		Grundriß des Erdgeschosses und Beischrift	Bebaute Grundfläche im Erdgeschoß	Gesamtrauminhalt des Gebäudes	Anzahl und Bezeichnung der Nutzeinheiten	Gesamtkosten der Bauanlage nach		Kosten des Hauptgebäudes nach der Ausführung				Kosten der Nebengebäude	Kosten der Nebenanlagen	Wert der Fuhren in Spalte 9—11 enthalten	Bemerkungen (Die hier angegebenen Kosten sind mit Ausnahme der persönlichen Bauleitungskosten in Spalte 9 u. 10 enthalten.)
			von	bis		qm rund	cbm rund		dem Anschlage ℳ	der Ausführung ℳ	im ganzen ℳ	für 1 qm ℳ rund	für 1 cbm ℳ rund	für 1 Nutzeinheit ℳ rund	ℳ	ℳ	ℳ	
					G. Schafställe. 1. Balkendecken mit Massivbelag.													
5	**Etgersleben,** Domäne	Magdeburg	16	17	1 = Schafstall, 2 = Bockstall, 3 = Futtertenne. Im D.: Futterboden.	851 *(nicht unterkellert)*	5955	1000 Schafe	**35 050**	**28 432**	28 432	33,4	4,8	28,4	—	—	2187	Erdgeschoß Putzbau auf Rohbausockel, Drempel verbrettertes Fachwerk. Doppelpappdach.
					H. Ställe für verschiedene Tiergattungen. (Fehlen.)													
					J. Scheunen.													
6	**Grumbkowkaiten,** Domäne	Gumbinnen	16		4 Quertennen, 4 Bansen.	871 *(nicht unterkellert)*	8884	—	—	**22 300**	22 300	25,6	2,5	—	—	—	—	Verbrettertes Holzfachwerk. Berusindoppelpappdach.
7	**Schwiegupönen,** Domäne	„	16		8 Quertennen, 2 Bansen.	1088 *(nicht unterkellert)*	8920	—	—	**29 700**	29 700	27,3	3,3	—	—	—	7200	Verbrettertes Holzfachwerk. Doppelpappdach.
					K. Schuppen. (Fehlen.)													
					XX. Gestütsbauten. **A. Wohnhäuser.**													
1	**Altefeld,** Wohnhaus des Rendanten	Cassel	15	17	1 = Eßzimmer, 3 = Geschäftszimmer, 2 = Wohnzimmer, 4 = Küche, 5 = Speisekammer. Im K.: Waschküche, Vorratsräume. „ D.: 4 Schlafzimmer, Mädchenzimmer, Bad. Bemerkung: Ein gleiches Wohnhaus ist auch für den Roßarzt erbaut worden.	210 *(ganz unterkellert)*	1697	—	**31 400**	**47 250**	43 990 980 *(Einrichtung der Geschäftszimmer)*	209,5	25,9	—	—	2280	—	Putzbau. Ziegeldach.
					B. Stallgebäude.													
2	**Vorwerk Guddin** (Hauptgestüt Trakehnen), Pferdestall	Gumbinnen	14	16	1 = Laufställe, 2 = Boxe, 3 = Futterkammern. Im D.: Futterboden.	1331 *(nicht unterkellert)*	9381	—	**72 100**	**68 000**	60 320 680 *(sächliche Bauleitungskosten)*	45,3	6,4	—	—	7000	3600	Ziegelrohbau mit Putzflächen. Pfannendach.
					C. Scheunen.													
3	**Vorwerk Danzkehmen** (Hauptgestüt Trakehnen)	Gumbinnen	16		9 Quertennen, 2 Bansen.	1440 *(nicht unterkellert)*	17 280	—	**46 600**	**36 370**	36 370 8 600 *(2 Totalablader)*	25,3	2,1	—	—	—	—	Verbrettertes Holzfachwerk. Doppelpappdach.

XXI. Hochbauten der Wasserbauverwaltung.

A. Dienstgebäude.

(Fehlen.)

B. Dienstwohngebäude.

1	2	3	4		5	6	7	8	9		10				11	12	13	14
Nr.	Bestimmung und Ort des Baues	Regierungsbezirk	Zeit der Ausführung		Grundriß des Erdgeschosses und Beischrift	Bebaute Grundfläche im Erdgeschoß	Gesamtrauminhalt des Gebäudes	Anzahl und Bezeichnung der Nutzeinheiten	Gesamtkosten der Bauanlage nach		Kosten des Hauptgebäudes (ausschließlich der in Spalte 11, 12 und 13 aufgeführten Kosten) nach der Ausführung				Kosten der Nebengebäude	Kosten der Nebenanlagen	Kosten der sächlichen Bauleitung	Bemerkungen (Die hier angegebenen Kosten sind mit Ausnahme der persönlichen Bauleitungskosten in Spalte 9 u. 10 enthalten.)
			von	bis		qm rund	cbm rund		dem Anschlage M	der Ausführung M	im ganzen M	für 1 qm M rund	für 1 cbm M rund	für 1 Nutzeinheit M rund	M	M	M	
1	**Stettin-Bredow,** Wohnhaus für einen Oberbauhofsvorsteher	Stettin	14	16	1 = Markenkontrolle, 3 = Arbeiterspeiseraum, 2 = Diensträume, 4 = Zahlstube. Im K.: Wächterstube, Lampenraum, Vorrats- und Lagerräume. „ I.: Dienstwohnung. „ D.: Waschküche, 4 Kammern, 1 Abort.	172 (ganz unterkellert)	1952	—	**37 000**	**40 043**	32 827 7 216 (künstliche Gründung)	190,9	16,8	—	—	—	—	Putzbau, Sockel Ziegelrohbau. Ziegelkronendach.
2	**Dirschau,** Sechsfamilienwohnhaus	Danzig	15	16	1 = Wohn. f. 1 Familie, 3 = Wohn. f. 1 Familie, 2 = desgl., 4 = desgl. Im K.: Vorratsräume, Waschküche. „ I.: 2 Wohnungen, Bodenkammern.	290 (davon unterkellert 188,0)	1970	6 Wohnungen	**38 600**	**41 500**	39 900	137,6	20,3	6433,3	1600	—	—	Putzbau. Ziegelkronendach.

C. Werkstattgebäude.

(Fehlen.)

D. Leuchtfeuer.

(Fehlen.)

E. Elektrizitätsbauten.

Nr.	Bestimmung und Ort des Baues	Regierungsbezirk	von	bis	Grundriß des Erdgeschosses und Beischrift	qm	cbm	Nutzeinheiten	dem Anschlage M	der Ausführung M	im ganzen M	qm M	cbm M	Nutzeinheit M	Nebengebäude M	Nebenanlagen M	sächliche Bauleitung M	Bemerkungen
3	**Hardegsen,** Umspannwerk	Hildesheim	14	16	1 = Lagerraum, 2 = Transformatorenzellen, 3 = Kondensatorraum, 4 = 60000-Voltraum, 5 = Akkumulatorenraum, 6 = 15000-Voltraum, 7 = Bühne. Im I.: 60000-Volt-Sammelschienenraum, Bodenraum	364 (nicht unterkellert)	3200	—	**57 000**	**55 952**	44 394	122,0	13,9	—	958	8100	2500	Putzbau. Ziegeldach. Dachbinder aus Eisen. Persönliche Bauleitungskosten 1 500 M.
4	**Hann.-Münden,** desgl.	„	14	16	1 = Lagerraum, 2 = Transformatorenzellen, 3 = Kondensatorraum, 4 = 60000-Voltraum, 5 = Akkumulatorenraum, 6 = 5000-Voltraum, 7 = Bühne. Im I.: 60000-Volt-Sammelschienenraum, Bodenraum.	364 (nicht unterkellert)	3280	—	**67 600**	**62 942**	40 241 12 150 (künstliche Gründung)	110,6	12,3	—	980	8169	1402	Wie vor. Persönliche Bauleitungskosten 3000 M.
5	**Sandershausen b. Cassel,** desgl.	Cassel	14	16	1 = 15000-Voltraum, 2 = Blitzschutz, 3 = Ölschalterzellen, 4 = 60000-Voltraum, 5 = Transformatorenzellen, 6 = Induktionsraum, 7 = Bühne. Im I.: 60000-Voltraum, Bodenraum.	519 (nicht unterkellert)	4770	—	**83 700**	**77 970**	65 040	125,3	13,6	—	1481	9029	2420	Wie vor. Persönliche Bauleitungskosten 3100 M.
6	**Göttingen,** desgl.	Hildesheim	14	16	1 = Transformatorenzellen, 2 = Induktionsraum, 3 = Ölschalterzellen, 4 = Kondensatorraum, 5 = 60000-Voltraum, 6 = 15000-Voltraum, 7 = Bühne. Im I.: 60000-Volt-Sammelschienenraum, Bodenraum.	519 (nicht unterkellert)	5020	—	**81 000**	**80 894**	65 193	125,6	13,0	—	980	13241	1480	Wie vor. Persönliche Bauleitungskosten 4500 M.

Buchdruckerei des Waisenhauses in Halle a. d. S.